

EMISSIES VAN BROEIKASGASSEN VAN RWZI'S

Kanaal 3

RAPPORT 08

stowa



ISBN 978.90.5773.461.8



Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

stowa@stowa.nl www.stowa.nl TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01 Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

COLOFON

Amersfoort, 2010

UITGAVE STOWA, Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Ellen van Voorthuizen, Royal Haskoning Martijn van Leusden, Royal Haskoning André Visser, Royal Haskoning Jans Kruit, Royal Haskoning, thans Paques Marlies Kampschreur, Technische Universiteit Delft Udo van Dongen, Technische Universiteit Delft Mark van Loosdrecht, Technische Universiteit Delft

PROJECTONDERSTEUNING

Wobke Gerritse, Waterschap Rivierenland Ferry van den Heuvel, Waterschap Rivierenland Rob Langeweg, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard Marcel van Hees, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard Harry Koevermans, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard Kira Schipper, Technische Universiteit Delft Pieter Vijfhuizen, Technische Universiteit Delft

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Alex Sengers, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard Klaas Appeldoorn, Hoogheemraadschap van Delfland Frank Brandse, Waterschap Reest en Wieden Hardy Temmink, Wageningen Universiteit en Researchcentre Ida Smit, Maria Vatamanu, Jacqueline van Wattingen, SenterNovem Cora Uijterlinde, STOWA

FOTO'S OMSLAG

	Bron: Ellen van Voorthuizen
DRUK	Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA	rapportnummer 2010-08
	ISBN 978.90.5773.461.8

TEN GELEIDE

Broeikasgassen zijn gassen die in de atmosfeer bijdragen aan de verhoging van de evenwichtstemperatuur van de aarde. De gassen CO_2 , CH_4 en N_2O leveren een belangrijke bijdrage aan de emissies van broeikasgassen in Nederland. Afhankelijk van de procesconfiguratie emitteren rwzi's broeikasgassen in meer of mindere mate.

 N_2O is een sterk broeikasgas. De vorming van lachgas op een rwzi is een complex proces waar diverse micro organismen voor verantwoordelijk zijn en diverse procesparameters invloed op hebben. In Nederland zijn in het verleden slechts zeer beperkt metingen aan N_2O -emissies op zuiveringssystemen gedaan. In onderhavige verkennende studie zijn de indirecte en directe emissies van broeikassen van rwzi's in kaart gebracht aan de hand van metingen op drie rwzi's.

De resultaten van onderhavige verkennende studie hebben aanleiding gegeven voor een vervolgonderzoek. In dit vervolgonderzoek wordt kennis ontwikkeld op het gebied van methaanvorming in de riolering en mogelijkheden om de emissie van methaan op een zuivering te reduceren. Met betrekking tot lachgas wordt onderzoek gedaan naar de vormingsprocessen van lachgas en de wijze waarop deze vrijkomt vanuit een rwzi. Verder worden relaties tussen lachgasemissie en procesparameters inzichtelijk gemaakt. Met deze kennis is het hopelijk in de toekomst mogelijk om maatregelen op te stellen om de vorming en emissie van lachgas vanuit een rwzi te reduceren.

De resultaten worden internationaal binnen de Global Research Coalition uitgewisseld om op deze manier een breder inzicht te verkrijgen in de oorzaken van het ontstaan van N_2O emissies op rwzi's.

De sector "waterschappen" staat op het punt om een klimaatakkoord te ondertekenen met het Ministerie van VROM. Een onderdeel van dit akkoord is het streven van een reductie van de uitstoot van broeikasgassen. Een ondertekening van dit akkoord past binnen het beleid dat door de waterschappen is ingezet om op een duurzame manier afvalwater te zuiveren.

J.M.J. Leenen

Directeur STOWA Amersfoort

SAMENVATTING

DOELSTELLING

Door de toenemende aandacht voor het opwarmen van de aarde die mogelijk door de emissie van broeikasgassen wordt veroorzaakt is er ook interesse ontstaan om de emissie van broeikasgassen vanuit rwzi's te bepalen. Het gaat hierbij om de broeikasgassen CO₂, CH₄ en N₂O. De emissie van CO₂ is voor rwzi's gerelateerd aan het verbruik van elektriciteit, aardgas of andere primaire energiedragers. Deze verbruiken zijn goed gedocumenteerd waardoor er al een goed beeld is van de CO, emissie. Daarentegen is van de emissie van N,O en CH, weinig bekend. Onbekend is in welke mate deze broeikasgassen vrijkomen en wat de oorsprong is. Vooralsnog worden emissiefactoren van de IPCC en VROM gehanteerd om een inschatting te maken van de emissie van N₂O en CH₄ vanuit een rwzi. De emissiefactor bedraagt 0,007 kg CH_4 / kg $CZV_{influent}$ voor zuiveringen zonder slibgisting en 0,0085 kg CH_4 / kg CZV $_{\rm influent}$ voor zuiveringen met slibgisting (VROM, 2008). Voor de emissie van $\rm N_2O$ wordt door de IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) een emissiefactor van 3,2 g N₂O·persoon⁻¹·jaar⁻¹ gehanteerd, VROM hanteert een emissiefactor van 1% op basis van de inkomende stikstofvracht. Daarnaast zijn waterschappen verplicht de uitstoot van broeikasgassen te rapporteren in het milieujaarverslag (MJV) voor IPCC plichtige rwzi's of rwzi's met een ontwerpcapaciteit groter dan 136.360 i.e (136 gTZV). Om een inschatting te maken van de emissie van N₂O wordt voor het milieujaarverslag een emissiefactor van 0,07% gehanteerd (STOWA, 2007). De doelstelling van dit onderzoek was om de mate van N₂O en CH₄ emissie vanuit Nederlandse rwzi's te bepalen om zo inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van de bestaande emissiefactoren. Op deze wijze kan mogelijk een inschatting worden gemaakt van de totale broeikasgasemissie vanuit Nederlandse rwzi's.

OPZET ONDERZOEK

Het onderzoek naar de emissie van N_2O en CH_4 is uitgevoerd op 3 rwzi's te weten Papendrecht, Kortenoord en Kralingseveer. Op de rwzi Kralingseveer is tweemaal gemeten, eenmaal in oktober en eenmaal in februari. Reden hiervoor was om inzicht te krijgen in het effect van de temperatuur op de emissie van N_2O en CH_4 . Verder is op de rwzi Kralingseveer voorbezinking aanwezig, terwijl deze afwezig is op Papendrecht en Kortenoord. Op deze manier kon een mogelijk effect van de CZV/N verhouding worden bestudeerd. Het effect van de wijze van fosfaatverwijdering kon worden bestudeerd doordat op Kortenoord fosfaat chemisch en biologisch wordt verwijderd terwijl dit op Papendrecht volledig biologisch gebeurd. Daarnaast verschilde de zuiveringen nog in procesconfiguratie. Papendrecht en Kortenoord hebben beide een Phoredox configuratie met carroussels, Kralingseveer is gebouwd volgens het Hoogvliet concept met eerst een propstroomreactor gevolgd door twee carroussels. De emissie van methaan is bepaald door het nemen van steekmonsters. De emissie van N_2O is gedurende een week continu gemeten in de totale afgezogen lucht van de zuivering. Op deze manier is rekening gehouden met de verwachte variatie in N_2O emissie in tijd en plaats.

CH₄ EMISSIE

Uit het onderzoek is gebleken dat de emissie van methaan vanuit rwzi's vooralsnog kan worden ingeschat door gebruik te maken van de VROM factoren voor zuiveringen zonder gisting (0,007 kg CH_4 / kg $CZV_{influent}$) en zuiveringen met gisting (0,0085 kg CH_4 / kg $CZV_{influent}$)

(VROM, 2008). Op zuiveringen zonder gisting lijkt de riolering de grootste bijdrage te leveren aan de emissie van methaan. Op zuiveringen met slibgisting draagt naast de riolering ook de slibgisting en alle daaraan gerelateerde onderdelen zeer significant bij aan de methaanemissie.

N₂O EMISSIE

In het uitgevoerde onderzoek werd een grote variatie gevonden in emissiefactoren tussen rwzi's en gedurende een dag op een rwzi. Hierdoor is het niet mogelijk om een algemene emissiefactor op te stellen om de emissie van N₂O vanuit een specifieke zuivering in te schatten. Op dit moment kan deze emissie alleen worden vastgesteld door monitoring van de emissie op lange termijn. De bijdrage vanuit rwzi's met een lage stikstofbelasting (< 0,015 kg N kg ds¹·d¹) zoals Papendrecht en Kortenoord aan de totale N₂O emissie vanuit rwzi's lijkt beperkt. In Papendrecht werd een emissiefactor gevonden van 0,040% bij een stikstofbelasting van 0,012 kg N kg ds¹.d¹ en in Kortenoord werd een emissiefactor gemeten van 0,048% bij een stikstofbelasting van 0,010 kg N kg ds¹·d¹. In Kralingseveer werd gedurende de meetperiode in oktober een emissiefactor van 0,42% gemeten bij een stikstofbelasting van 0,020 kg N kg ds¹·d¹. Gedurende de meting aan dezelfde zuivering in februari werd bij een verhoogde aanvoer en lage temperatuur (9°C) een emissiefactor van 6,1% gemeten. Daarmee lijkt de bijdrage vanuit hoogbelaste systemen aan de totale N₂O emissies vanuit rwzi's groter en wordt een onderschatting gemaakt indien voor deze systemen de huidige emissiefactoren worden gehanteerd. Aangezien de meeste rwzi's in Nederland laagbelast zijn zal door het gebruik van de huidige emissiefactoren voor N₂O een overschatting worden gemaakt van de bijdrage aan de nationale emissie.

Het effect van de wijze van fosfaatverwijderen, de CZV/N verhouding, de procesconfiguratie en de temperatuur op de N_2O kan op basis van dit onderzoek niet worden vastgesteld. Wel werd er in Kortenoord een correlatie gevonden tussen de stikstofbelasting en de hoogte van de N_2O emissie, deze correlatie werd niet op de ander twee zuiveringen gevonden. Gedurende de meetperiode in februari in Kralingseveer werd verder een correlatie gevonden tussen de nitraatconcentratie en de hoogte van de N_2O emissie. Dit duidt mogelijk op het feit dat tevens nitrietophoping plaatsvond die mogelijk de oorzaak was van de hoge N_2O emissie (6,2%) in februari in Kralingseveer. Doordat de metingen plaatsvonden in de totale afgezogen lucht van de zuiveringen kon niet worden vastgesteld of de nitrificatie of de denitrificatie verantwoordelijk was voor de emissie van N_3O .

TOTALE BROEIKASGASEMISSIE

De totale emissie van broeikasgassen vanuit de drie rwzi's is samengevat in tabel 1. Op zuiveringen met een lage stikstofbelasting (Papendrecht en Kortenoord) vormt het elektriciteitsverbruik de grootste bijdrage aan de emissie van broeikasgassen. Op zuiveringen met slibgisting zoals Kralingseveer kan methaan een belangrijke bijdrage leveren aan de totale broeikasgasemissie. Indien de nitrificatie wordt verstoord door een combinatie van lage temperatuur en hoge aanvoer (Kralingseveer februari) kan de emissie van N₂O een zeer grote bijdrage leveren aan de totale broeikasgasemissie.

De totale broeikasgasemissie was in Kralingseveer in februari 5 – 6x hoger dan in oktober. Dit laat zien dat een verstoring in het proces een invloed kan hebben op de totale broeikasgasemissie in een jaar van een zuivering.

Parameter	Eenheid	Papendrecht	Kortenoord	Kralingseveer	Kralingseveer
		(september)	(mei/juni)	(oktober)	(februari)
CH4 emissie	(kg/d)	29,2	38,4	306	227
CH4 emissie	(g/ i.e.)	0,58	0,42	1,2	0,63
N ₂ 0-N emissie	(kg/d)	0,17	0,43	9,6	220
N ₂ 0 emissie	(g/ i.e.)	2,0	2,7	21,6	222
Totale emissie	(kg CO ₂ -eq/d)	4.299	7.139	21.061	117.414
Totale emissie	(g CO ₂ -eq/i.e)	86	79	83	325
Elektriciteit	(%) ¹⁾	80	82	41	7
	(g CO ₂ -eq/i.e)	69	64	34	27,5
Aardgas	(%) ¹⁾	0,7	2,2	1	0
	(g CO ₂ -eq/i.e)	0,62	1,8	1,1	0,9
N ₂ 0	(%) ¹⁾	1,9	2,8	21	88
CH_4	(%) ¹⁾	17	13	36	5

IABEL 1	OVERZICHT VAN DE TOTALE BROEIKASGASEMISSTE EN DE EMISSTE VAN CH4, N20 VOOR DE RWZI'S PAPENDRECHT, KORTENOORD EN KRALINGSEVEER

1) % van totale broeikas
gasemissie (kg $\rm CO_2-d)$

Bovenstaande resultaten laten zien dat voor zuiveringen zoals Papendrecht en Kortenoord de potentie voor emissiereductie ligt in het besparen op het elektriciteitsverbruik. Een mogelijkheid om de emissie van methaan te reduceren is het behandelen van de afgezogen lucht in het biologisch proces door de afgezogen lucht via de blowers te injecteren in de beluchtingstank. Een andere mogelijkheid is om een deel van de afgezogen lucht te gebruiken als verbrandingslucht van een WKK. Maatregelen om de emissie van N₂O te reduceren zijn beperkt omdat op dit moment nog het inzicht ontbreekt in de exacte vormingsprocessen van N₂O en welke procesparameters hier mogelijk een rol in spelen.

AANV ULLEND ONDERZOEK CH,

Vooralsnog zijn de VROM emissiefactoren voor methaan op basis van dit onderzoek bruikbaar gebleken. Om in de toekomst richtlijnen op te stellen om de emissie van methaan te reduceren zal in een vervolgonderzoek nog aandacht moeten worden geschonken aan:

- de vorming van methaan in de riolering en de rwzi;
- de effectiviteit van de hui dige luchtbehandelingstechnieken om methaan te verwijderen;
- de capaciteit van het actiefslibsysteem om methaan te oxideren
- de mate waarin methaan wordt gestript naar de lucht.

AANVULLEND ONDERZOEK N,0

Gezien de grote variatie in N_2O emissie is het niet reëel om één factor te hanteren voor alle rwzi's. Om deze reden is het nog niet mogelijk om de emissie van N_2O vanuit een specifieke rwzi in te schatten. Verder bestaat er te weinig inzicht in de oorzaken van N_2O vorming en emissie.

Het wordt daarom aanbevolen om in een vervolgonderzoek aandacht te schenken aan:

- het vinden van een mogelijke correlatie tussen de nitrietconcentratie of de stikstofbelasting en de emissie van N₂O;
- de variatie in de N₂O emissie als gevolg van veranderde omstandigheden (aanvoer en temperatuur).

Het wordt aanbevolen om deze aandachtspunten op praktijkschaal te onderzoeken waarbij voor een langere periode (jaar) één rwzi continu wordt gemonitoord (N_2O emissie en procesparameters). Voor een verdergaand inzicht in de vorming en emissie van N_2O wordt aanbevolen om de metingen in de praktijk te ondersteunen met metingen op laboratoriumschaal. Op deze wijze kan onder gecontroleerde condities het effect van één procesparameter op de emissie van N_2O worden onderzocht. Voorgesteld wordt om hierbij te kijken naar het effect van de CZV/N verhouding, het luchtdebiet, de nitrietconcentratie en de temperatuur.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00. Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort. Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

SUMMARY

AIM OF THE INVESTIGATION

In recent years there is an increasing attention for climate change issues. This is an important driver to identify emissions of greenhouse gases from wastewater treatment plants (WWTPs). Greenhouse gases emitted from a WWTP are carbon dioxide (CO_{2}), methane (CH_{4}) and nitrous oxide (N₂O). The emission of CO₂ from WWTPs is related to the use of electricity, natural gas or other fossil fuels. The use of fossil fuels is well documented and hence the emission of CO, from WWTPs is well known. This is not the case for the emission of N₂O and CH₄. The amount and origin of the emission of these two gases is unknown. Presently emission factors from the IPCC (Intergovernmental panel on climate change) and VROM (Dutch ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment) are used to estimate the emission of N₃O and CH, from WWTPs. The emission factor for methane is 0.007 kg CH_4 / kg $COD_{influent}$ for WWTPs without sludge digestion, for WWTPs with sludge digestion the emission factor is 0.0085 kg CH₄ / kg COD_{influent} (VROM, 2008). The emission factor for N₂O as used by the IPCC is 3.2 g N₂O per person per year, VROM uses an emission factor of 1% of influent nitrogen load. The aim of this research was to determine the level of N₂O and CH₄ emission from Dutch WWTPs to understand the accuracy of the existing emission factors. In this way an estimation of the total greenhouse gas emission from a Dutch WWTP can be made.

EXPERIMENTAL SET-UP

The emission of N_2O and CH_4 was measured at three WWTPs: Papendrecht, Kortenoord and Kralingseveer. At the WWTP of Kralingseveer the emission of N_2O and CH_4 was measured in two periods, once in October and once in February. These periods were chose to gain insight on the possible effect of the temperature on the emission of N_2O and CH_4 . At the WWTP Kralingseveer a primary clarifier is present while it is absent at the WWTP of Papendrecht and Kortenoord. In this way a possible effect of the COD/N ratio on the N_2O emission could be investigated. A possible effect of the way of phosphate removal could be studied because at WWTP of Kortenoord phosphate is removed biologically and chemically, while the removal at WWTP Papendrecht was completely biological. Next to these differences the WWTPs differed in process configuration. The WWTPs in Papendrecht and Kortenoord have an identical configuration (Phoredox with aeration circuit), the WWTP in Kralingseveer is built according to the Hoogyliet concept with first a plug flow reactor followed by two aeration circuits. The emission of methane was determined based on grab samples. N_2O emission was measured continuously for a week in the total off gas of completely covered WWTPs. In this way the expected variation in N_2O emission in time and place was taken into account.

CH₄ EMISSION

The results in this research show that the emission factors of methane from WWTPs for the time being can be estimated with the use of the VROM emission factor for WWTP without sludge digestion (0.007 kg $CH_4 / \text{kg COD}_{\text{influent}}$) and WWTPs with sludge digestion (0.0085 kg $CH_4 / \text{kg COD}_{\text{influent}}$). The emission of methane at WWTPs without sludge digestion can mainly be contributed to the sewer leading to emission at the inlet works. At WWTPs with sludge digestion all compartments related to sludge digestion contribute next to the sewer to the emission of methane. In February a lower emission of methane compared to October was observed.

N₀ EMISSION

In this research, large variations in N_2O emissions in time and between different WWTP and between different seasons were found. This implies that it is not possible to present a general emission factor to estimate the emission of N_2O from a specific WWTP. For this moment the emission of N_2O from a specific WWTP can only be determined by long term measurements. The contribution of WWTPs with a low sludge loading rate (nitrogen) to the total emission of N_2O from WWTPs seems to be limited. In Papendrecht an emission factor of 0,040% was found at a sludge loading rate of 0,012 kg N·kg TTS⁻¹·day⁻¹, at Kortenoord an emission factor of 0,048% was found at a sludge loading rate of 0,010 kg N·kg TTS⁻¹·day⁻¹. During the measuring period in October in Kralingseveer an emission factor of 0,42% was found at a sludge loading rate of 0,020 kg N·kg TTS⁻¹·day⁻¹. In the measuring period in February at the same WWTP a high influent flow and a low temperature (9°C) resulted in an emission factor of 6,1%.

With this it seems that the contribution of WWTPs with a higher sludge loading rate to the total emission of N_2O from WWTPs is larger than from WWTPs with a low sludge loading rate. Since most Dutch WWTPs have a low sludge loading rate (< 0,015 kg N·kg TTS¹·day¹) the contribution of those WWTP's to the overall N_2O emission by WWTPs will be overestimated by the use of the current emission factors (IPCC, VROM).

The influence of process parameters such as the way of phosphate removal, the COD/N ratio, the process configuration and the temperature on the emission of N_2O can not be determined based on the results of this research. However in Kortenoord a correlation was found between the sludge loading rate (nitrogen) and the N_2O emission, this correlation was not found at the other two plants. In Kralingseveer in February a correlation was found between the emission of N_2O and the nitrate concentration. This possible implies also an accumulation of nitrite which was possibly the main cause of the high N_2O emission (6.2%) in February in Kralingsveer. The origin (nitrification or denitrification) of the N_2O formation could not be determined, because the measurements took place in the total off f gas of the WWTPs.

TOTAL GREENHOUSE GAS EMISSION

The total greenhouse gas emission from the three WTTP's is summarized in table 1. The emission of greenhouses gases can mainly be contributed to the use of electricity at WWTPs with a low nitrogen sludge load (Papendrecht and Kortenoord) as can be observed from table 1. At WWTPs with sludge digestion, such as Kralingseveer methane contributes for an important part to the total greenhouse gas emission. The emission of N_2O can contribute for a great part to the total greenhouse gas emission when the nitrogen removal process is disturbed by a combination of a low temperature and a high water flow (Kralingseveer February). The total greenhouse gas emission in February at Kralingseveer was 5 – 6 times higher than in October. This shows that a disturbance in the process can have an impact on the total greenhouse gas emission in a year.

Parameter	Unit	Papendrecht	Kortenoord	Kralingseveer	Kralingseveer
		(September)	(May/June)	(October)	(February)
CH ₄ emission	(kg/d)	29.2	38.4	306	227
CH_4 emission	(g/ p.e.)	0.58	0.42	1.2	0.63
N ₂ 0-N emission	(kg/d)	0.17	0.43	9.6	220
N ₂ 0 emission	(g/p.e.)	2.0	2.7	21.6	222
Total emission	(kg CO ₂ -eq/d)	4,299	7,139	21,061	117,414
Total emission	(g CO ₂ -eq/p.e)	86	79	83	325
Electricity	(%) ¹⁾	80	82	41	7
	(g CO ₂ -eq/p.e)	69	64	34	27.5
Natural gas	(%) ¹⁾	0.7	2.2	1	0
	(g CO ₂ -eq/p.e)	0.62	1.8	1.1	0.9
N ₂ 0	(%) ¹⁾	1.9	2.8	21	88
CH_4	(%) ¹⁾	17	13	36	5

TABLE 1 OVERVIEW OF THE TOTAL GREENHOUSE GAS EMISSION AND THE EMISSION OF CH4 AND N20 OF THE WWTPS AT PAPENDRECHT, KORTENOORD AND KRALINGSEVEER KORTENOORD AND KRALINGSEVER

1) Contribution to the total greenhouse gas emission (kg CO₂-eq/d)

Efforts to reduce the emission of greenhouse gases may be directed to savings in electricity use at WWTPs such as Papendrecht and Kortenoord. The emission of methane can possibly be reduced by treating the off-gas in a biological process. This can be achieved by injecting the off gas into an aeration tank via the blowers. Another possibility to reduce the emission of methane is to use the off-gas as combustion gas in combined heat and power equipment. Measures to reduce the emission of N₂O are limited due to the lack of insight in the exact formation processes of N₂O and which process parameters play an important role in this.

Further research CH₄

It was demonstrated that the emission factor for methane set by VROM is acceptable to estimate the emission of methane from WWTP's. However, there is a lack of guidelines for measures to reduce methane emission from WWTP's. Therefore it is desirable to research the following items:

- the methane production capacity in sewers and wwtp's;
- the removal efficiency of existing air treatment systems on the removal of methane;
- the capacity of activated sludge systems to oxidize methane;
- the amount of methane emitted from an activated sludge system.

FURTHER RESEARCH N,0

In this research it was found that the emission of N_2O showed a great variation. For this reason the application of one emission factor for N_2O is not realistic. Therefore it is not possible to estimatie the N_2O emission from a specific WWTP. Moreover there is a not enough understanding of N_2O formation and emission. It is recommended to research:

- the possible correlation between the nitrite concentration or sludge loading rate (N) and the emission of N₂O;
- the variation in the emission of N₂O as a consequence of changing circumstances (flow and temperature).

It is proposed to investigate the above items at one full-scale WWTP during a longer period of time (year). In this period the emission of N_2O should be monitored continuously together with important process parameters. For a deeper understanding of the formation and emission of N_2O it is recommended to support the measurements at full-scale with measurements at laboratory scale. With the measurements at laboratory scale it is possible to study the effect of one procesparameter under controlled conditions. It is proposed to study the effect of the COD/N ratio, the aeration, the nitrite concentration and the temperature.

DE STOWA IN BRIEF

The Foundation for Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are all ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater treatment installations and dam inspectors.

The water controllers avail themselves of STOWA's facilities for the realisation of all kinds of applied technological, scientific, administrative legal and social scientific research activities that may be of communal importance. Research programmes are developed based on requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as knowledge institutes and consultants, are more than welcome. After having received such suggestions STOWA then consults its participants in order to verify the need for such proposed research.

STOWA does not conduct any research itself, instead it commissions specialised bodies to do the required research. All the studies are supervised by supervisory boards composed of staff from the various participating organisations and, where necessary, experts are brought in.

The money required for research, development, information and other services is raised by the various participating parties. At the moment, this amounts to an annual budget of some 6,5 million euro.

For telephone contact number is: +31 (0)33 - 460 32 00. The postal address is: STOWA, P.O. Box 2180, 3800 CD Amersfoort. E-mail: stowa@stowa.nl. Website: www.stowa.nl. **STOWA 2010-08** EMISSIES VAN BROEIKASGASSEN VAN RWZI'S

EMISSIES VAN BROEIKASGASSEN VAN RWZI'S

INHOUD

1

2

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding rapport	1
1.2	Doelstelling rapport	2
1.3	Afbakening	2
1.4	Leeswijzer	3
	LITERATUUROVERZICHT	4
2.1	Broeikasgasemissies van een rwzi	4
2.2	CO ₂ emissies van een rwzi	4
2.3	CH4 emissies van een rwzi	5
2.4	N ₂ 0 emissie op een rwzi	5
	2.4.1 N ₂ 0 vorming	5
	2.4.2 N ₂ 0 vorming door nieuwe stikstofverwijderingstechnieken	8
	2.4.3 Emissie van N20	9
	2.4.4 Meetmethodieken N20	9
2.5	Emissies van broeikasgassen in de praktijk	10
2.6	Verwijderingstechnieken voor broeikasgassen	13

3		MEETPI	ROGRAMMA	14
	3.1	Selecti	iecriteria rwzi's	14
	3.2	Meetm	ethodiek	15
		3.2.1	N_2^0 en CH_4 metingen	15
		3.2.2	Meting gasdebiet	16
		3.2.3	Overige metingen	17
	3.3	Bereke	ningen	17
		3.3.1	CO ₂ - equivalenten	17
	3.4	Karakte	eristieken rwzi Papendrecht	18
		3.4.1	Beluchting	20
		3.4.2	Procesregeling	20
		3.4.3	Luchtbehandeling	21
		3.4.4	Metingen op rwzi Papendrecht	21
	3.5	Karakte	eristieken rwzi Kortenoord	23
		3.5.1	Beluchting	25
		3.5.2	Procesregeling	25
		3.5.3	Luchtbehandeling	26
		3.5.4	Metingen op rwzi Kortenoord	26
	3.6	Karakte	eristieken rwzi Kralingseveer	27
		3.6.1	Beluchting	29
		3.6.2	Procesregeling	30
		3.6.3	Luchtbehandeling	30
		3.6.4	Metingen op rwzi Kralingseveer	31
4		RESULT	TATEN	33
	4.1	rwzi Pa	apendrecht	33
		4.1.1	Functioneren zuivering	33
		4.1.2	Gasdebieten	33
		4.1.3	Emissie CH	34
		4.1.4	Emissie N.O	35
		4.1.5	Totale emissie broeikasgassen	38
	4.2	rwzi Ko	ortenoord	39
		4.2.1	Functioneren zuivering	39
		4.2.2	Gasdebieten	39
		4.2.3	Emissie CH4	40
		4.2.4	Emissie N2O	41
		4.2.5	Totale emissie broeikasgassen	44
	4.3	rwzi Kr	ralingseveer	45
		4.3.1	- Functioneren zuivering	45
		4.3.2	Gasdebieten	47
		4.3.3	Emissie CH,	48
			4	
		4.3.4	Emissie N ₂ 0 meetperiode oktober 2008	50
		4.3.4 4.3.5	Emissie N ₂ 0 meetperiode oktober 2008 Emissie N ₂ 0 meetperiode februari 2009	50 51

5		DISCUSSIE	55
	5.1	CH ₄ emissie	55
		5.1.1 Emissiefactor	55
		5.1.2 Oorsprong emissie	56
	5.2	N ₂ 0 emissie	57
		5.2.1 Emissiefactoren	57
		5.2.2 Oorsprong emissie	59
	5.3	Totale broeikasgasemissie	60
	5.4	Maatregelen beperking emissie broeikasgassen	60
6		CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	61
	6.1	Conclusies	61
	6.2	Aanbevelingen	63
7		REFERENTIES	64
		BIJLAGEN	
	1	Afkortingen en begrippen	67
	2	Achtergrond CH ₄ emissiefactor	69
	3	Analyseresultaten influent, effluent en slib	73
	4	Meetfoutanalyse gasdebieten	79

STOWA 2010-08 EMISSIES VAN BROEIKASGASSEN VAN RWZI'S

1
INLEIDING

1.1 AANLEIDING RAPPORT

Door de toenemende aandacht voor het opwarmen van de aarde die mogelijk door de emissie van broeikasgassen wordt veroorzaakt is er ook interesse ontstaan om de emissie van broeikasgassen vanuit rwzi's te bepalen. Het gaat hier dan om de emissie van CO_2 , CH_4 en N_2O . De emissie van CO_2 die vrijkomt bij het zuiveringsproces behoort tot de zogenaamde korte kringloop CO_2 en draagt niet bij aan het broeikasgaseffect. Er is weinig bekend over de emissie van CH_4 (Czepiel, 1993), maar het is aannemelijk dat methaan voornamelijk wordt geproduceerd in anaëroob milieu (riolering) (Guisasola, 2008) en dat de bijdrage van de rwzi zelf zeer gering zal zijn (Gray, 2002, en Lens, 1995). Wel kan het zo zijn dat methaan gevormd in de riolering pas vrijkomt op de zuivering. Procesonderdelen uit de sliblijn waaronder de slibgisting, indikkers en een ontwateringsinstallatie kunnen een bron zijn van methaanemissie.

De emissie van N_2O is gerelateerd aan de verwijdering van ammonium via nitrificatie en denitrificatie op een rwzi. N_2O emissie kan tevens plaatsvinden in het oppervlaktewater na lozing van het effluent.

Voor zowel de emissie van zowel CH_4 als N_2O worden emissiefactoren toegepast om een inschatting te maken van de broeikasgasuitstoot van landen die deelnemen aan het Kyotoprotocol. Deze landen zijn elk jaar verplicht een rapportage te maken van de broeikasgasuitstoot waarin ook de bijdrage van rwzi's wordt meegenomen.

Sinds 1997 werd voor lachgas (N₂O) een emissiefactor gehanteerd van 1% van de totale stikstofvracht die een rwzi binnenkomt. Deze emissiefactor is niet gebaseerd op metingen van waterzuiveringsinstallaties, maar op een beperkt aantal metingen vanuit bodems en sedimenten (Kampschreur, 2009). In 2006 werd deze emissiefactor verlaagd naar 0,5% voor rwzi's zonder stikstofverwijdering. Er werd hierbij aangenomen dat de emissie van N_oO volledig na de rwzi in het oppervlaktewater plaatsvindt. Voor de rwzi's met stikstofverwijdering wordt vanaf 2006 een emissiefactor van 3,2 g N₂O per persoon per jaar gehanteerd (IPCC, 2006). Dit correspondeert voor de Nederlandse situatie met een percentage van 0,035% van de stikstofvracht uit het influent (Kampschreur, 2009). Zeer opvallend hierbij is dat de emissiefactor van 3,2 g N_oO per persoon gebaseerd is op één onderzoek (Czepiel, 1995), waarbij de onderzochte zuivering alleen organisch materiaal verwijderde. Alle bovengenoemde emissiefactoren worden in de praktijk gebruikt. In het laatste protocol uitgegeven voor het National Inventory report 2008 van Nederland wordt de IPCC emissiefactor (1%) uit 1997 gehanteerd (VROM, 2008). In het recent verschenen rapport: "Op weg naar de klimaatneutrale waterketen" wordt voor N₂O een emissiefactor van 0,5% gehanteerd (Frijns, 2008). In dit rapport is de emissiefactor vastgesteld op basis van een gemiddelde emissiefactor die in de literatuur werd aangetroffen.

Naast de verplichting van Nederland ten aanzien van het Kyoto protocol hebben de waterschappen de verplichting de uitstoot van broeikasgassen te rapporteren (voor het milieujaarverslag) voor IPCC plichtige rwzi's of rwzi's met een ontwerpcapaciteit groter dan 136.360 i.e (136 g TZV).

Om een inschatting te maken van de emissie van N_2 O wordt voor het milieujaarverslag (MJV) een emissiefactor van 0,07% gehanteerd (STOWA, 2007). Deze emissiefactor is voor een deel gebaseerd op metingen aan twee laagbelaste rwzi's (BKH, 1994).

Door de IPCC wordt de emissie van methaan ingeschat aan de hand van maximale hoeveelheid methaan die uit CZV kan worden geproduceerd. De mate waarin deze hoeveelheid methaan wordt geëmitteerd wordt ingeschat aan de hand van correctiefactoren die per afvalwater, slibbehandelingssysteem verschillen. In Nederland wordt door VROM

een emissiefactor van 0,0085 kg CH_4 per kg $CZV_{influent}$ gehanteerd (VROM, 2008). Deze emissiefactor is samengesteld uit de emissie vanuit de rwzi (0,007 kg $CH_4/kg CZV_{influent}$) en de emissie vanuit de slibgisting (0,0015 kg $CH_4/kg CZV_{influent}$) (zie bijlage 2). Waarbij moet worden aangetekend dat op deze manier geen rekening wordt gehouden met het feit dat op een rwzi met slibgisting het slib van meerdere rwzi's kan worden vergist. Deze emissiefactor wordt ook toegepast in het eerder genoemde protocol van VROM en het rapport over de klimaatneutrale waterketen. Voor de rapportage van de de hoeveelheid geëmitteerd methaan in het MJV wordt uitgegaan van het feit dat emissie van methaan op een rwzi voornamelijk afkomstig is uit na-indikkers bij rwzi's met gisting. Hiervoor wordt een emissiefactor van 18 g $CH_4 \cdot i.e_{136}^{-1} \cdot jaar^1$ gehanteerd (STOWA, 2007).

1.2 DOELSTELLING RAPPORT

De doelstelling van dit onderzoek is inzicht te krijgen in de emissie van broeikasgassen van Nederlandse rwzi's. Om deze doelstelling te bereiken tracht dit rapport antwoord te geven op de volgende vragen:

- Wat is de N₂O en CH₄ emissie van een voor Nederland representatieve rwzi?
- Waar vindt vorming van deze broeikasgassen plaats?
- Zijn de huidige emissiefactoren voor CH₄ en N₂O bruikbaar om een inschatting te maken van de totale broeikasgasemissie van een Nederlandse rwzi?
- Zijn er aanvullende metingen noodzakelijk om te komen tot betrouwbare emissiefactoren voor de Nederlandse rwzi's?

1.3 AFBAKENING

Het in dit rapport beschreven onderzoek is het eerste praktijkonderzoek sinds het BKH onderzoek uit 1994 naar de emissie van broeikasgassen van Nederlandse rwzi's. De emissie van N₂O is per locatie gedurende een week continu gemeten. Daarnaast tracht dit onderzoek procesparameters te identificeren die de vorming van N₂O beïnvloeden. De emissie van CH₄ is bepaald aan de hand van steekmonsters. In dit onderzoek is beperkt gekeken naar de verwijdering van broeikasgassen door luchtbehandelingsinstallaties.

1.4 LEESWIJZER

In het rapport wordt eerst ingegaan op de achtergronden en theorie van de emissie van broeikasgassen van een rwzi (Hoofdstuk 2). In het derde hoofdstuk wordt ingegaan op de gevolgde meetmethode en op de karakteristieken van de rwzi's waar de metingen hebben plaatsgevonden. De meetmethode wordt vergeleken en afgestemd met enkele meetmethoden die in het buitenland worden toegepast.

De resultaten van de metingen worden besproken in het vierde hoofdstuk. In hoofdstuk 5 worden de resultaten bediscussieerd en worden de onderzoeksvragen beantwoordt. In dit hoofdstuk worden ook maatregelen gepresenteerd die de emissie van broeikasgassen kunnen verlagen. In het laatste hoofdstuk worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

2 LITERATUUROVERZICHT

2.1 BROEIKASGASEMISSIES VAN EEN RWZI

De belangrijkste broeikasgassen die van een rwzi vrijkomen zijn CO_2 , CH_4 en N_2O . In figuur 1 is schematisch weergegeven waar op een rwzi emissies van broeikasgassen worden verwacht, in deze figuur is de directe emissie van CO_2 niet opgenomen omdat deze niet bijdraagt aan het broeikasgaseffect.



In de ontvangkelder kan methaan vrijkomen dat is gevormd in de riolering, gezien de korte verblijftijd van het afvalwater in de ontvangkelder valt vorming van methaan hier niet te verwachten. Vorming van methaan zal verder op de rwzi alleen mogelijk zijn daar waar anaërobe omstandigheden heersen zoals in de anaërobe tank of bij de verwerking van slib. Emissie van methaan in de beluchtingstank zal het gevolg zijn van het strippen van eerder gevormd methaan uit voornamelijk de riolering. Emissie en vorming van N₂O is mogelijk onder anoxische of aërobe omstandigheden in de aanwezigheid van nitraat (plus koolstofbron) of ammonium. Op basis hiervan is vorming en emissie van N₂O te verwachten in een anoxische tank of de beluchtingstank. De aanwezigheid van nog niet omgezette stikstofverbindingen in het effluent kan leiden tot de vorming en emissie van N₂O vanuit het oppervlaktewater.

2.2 CO, EMISSIES VAN EEN RWZI

Bij de emissie van CO_2 door een rwzi kan onderscheid gemaakt worden tussen CO_2 dat direct vrijkomt als gevolg van biologische omzettingen in de water- en sliblijn en indirecte emissie van CO_2 door verbruik van energie verkregen uit fossiele brandstoffen. De emissie van CO_2 als gevolg van biologische omzettingen wordt gerekend tot de korte kringloop CO_2 en draagt niet bij tot het broeikaseffect. Het verbruik van elektriciteit wordt wel gerekend tot de emissie van CO_2 .

2.3 CH_{4} EMISSIES VAN EEN RWZI

De emissie van CH_4 wordt op verschillende plaatsen op de rwzi verwacht. Deze plaatsen zijn:

- ontvangkelder;
- anaërobe / anoxische tanks;
- beluchtingstank;
- slibverwerking.

Het methaan dat vrijkomt in de ontvangkelder is gevormd in het rioleringstelsel. Hierover is in tegenstelling tot de vorming en emissie van H_2S weinig bekend. In een aantal landen (Australië en de Verenigde Staten) wordt hier momenteel wel onderzoek naar gedaan. Uit de eerste resultaten van het Australische onderzoek blijkt dat in persleidingen aanzienlijke hoeveelheden methaan kunnen worden gevormd. De gevonden waarden in dit onderzoek, varieerde van 4 mg CH_4/l tot boven de verzadigingsconcentratie van CH_4 in water van 22 mg/l (bij 298 K, 1 atm) (Guisasola, 2008). Deze waarden werden gemeten bij afvalwatertemperaturen tussen de 26 en 28 °C, en zijn niet direct te vergelijken met de Nederlandse situatie. In de Nederlandse situatie varieert de temperatuur van het afvalwater tussen de 10 en 23 °C.

In de eerste tanks van een rwzi kan onder anaërobe omstandigheden CH_4 worden gevormd. In de meeste gevallen zijn deze tanks afgedekt en worden ze afgezogen zodat emissie van CH_4 eventueel plaatsvindt na de luchtbehandeling.

In de beluchtingstank kan CH_4 gevormd worden door de aanwezigheid van methanogenen in het slib. De aanwezigheid van methanogenen in actief slib is door diverse auteurs aangetoond (Gray, et al., 2002; Lens et al., 1995). Daarnaast is door deze auteurs de methaanproductie van actief slib gemeten in batch testen. Gray vond een methaanproductie van $0.08 - 0.18 \mu g CH_4$. g DS⁻¹·h⁻¹ bij 15 °C voor actief slib dat was geïncubeerd onder anoxische omstandigheden. Het actief slib was afkomstig uit twee installaties in Engeland. Omgerekend naar de volledige installaties betekende dit dat 0.01 - 0.02% van de verwijderde koolstof door methanogenen werd omgezet. Lens vond een hogere bijdrage van 1 - 1.5%, maar deze was gebaseerd op methaanproducties gemeten bij 35 °C. Uit deze onderzoeken blijkt dat methanogenen aanwezig kunnen zijn in actief slib, maar dat hun bijdrage aan methaanvorming in een rwzi beperkt zal zijn. Emissie van methaan uit de beluchtingstank zal eerder het gevolg zijn van het strippen van methaan uit het influent of methaan dat is gevormd in een anaërobe tank.

Tijdens de vergisting van primair slib en spuislib wordt naast CO_2 ook CH_4 gevormd. Dit CH_4 wordt in de meeste gevallen volledig aangewend om via gasmotoren elektriciteit en/of warmte te leveren voor diverse processen op de zuivering. Bij een piek in de productie van CH_4 kan het worden opgeslagen in een afgesloten gashouder of worden afgefakkeld. Op deze manier is emissie van CH_4 bij de slibvergisting, energieopwekking en affakkeling mogelijk via de verbrandingslucht, lekkages, spui en door onvolledige verbranding. Verder is methaanemissie mogelijk uit slibbuffers, slibindikkers of tijdens slibverlading (STOWA, 2004-9).

2.4 N₂O EMISSIE OP EEN RWZI

2.4.1 N₂O VORMING

Lachgas (N_2O) kan op een rwzi gevormd worden tijdens biologische stikstofverwijdering. Biologische stikstofverwijdering wordt in een rwzi uitgevoerd in twee stappen: de nitrificatie en de denitrificatie.

NITRIFICATIE

Autotrofe nitrificatie vindt plaats in twee stappen en wordt uitgevoerd door twee verschillende groepen nitrificeerders, ammonium oxiderende bacteriën (AOB) en nitriet oxiderende bacteriën (NOB). AOB zetten ammonium om naar nitriet via de volgende drie stappen zoals is weergegeven door Colliver (Colliver, 2000):

$$NH_{3} + O_{2} + 2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow NH_{2}OH + H_{2}O$$
(1)
$$NH_{2}OH + H_{2}O \rightarrow NO_{2}^{-} + 5H^{+} + 4e^{-}$$
(2)

$$0.5O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$$
 (3)

Totaal

$$NH_3 + 1,5O_2 \rightarrow NO_2^{-} + H^+ + H_2O$$
(4)

NOB oxideren NO² naar NO³, dit proces verloopt als volgt (weergave uit: Colliver, 2000):

$NO_{2}^{-} + H_{2}O$	\rightarrow	$NO_{3}^{-} + 2H^{+} + 2e^{-}$	(5)
$0,50_2 + 2H^+ + 2e^-$	\rightarrow	H ₂ O	(6)

$$\text{Fotaal} \qquad \text{NO}_2^- + 0,5\text{O}_2 \qquad \rightarrow \qquad \text{NO}_3^- \qquad (7)$$

In beide stappen van de nitrificatie is N_2O geen tussenproduct. Echter, vorming van N_2O tijdens de nitrificatie werd al gerapporteerd eind jaren '80 en begin jaren '90 in onderzoek naar nitrificatie in bodems zoals gerapporteerd door Gejlsbjerg (Gejlsbjerg, 1998). Later werd dit ook aangetoond in diverse onderzoeken aan nitrificerend slib uit rwzi's (Gejlsberg, 1998, Burgess, 2002 en Butler, 2009). In de onderzoeken van Burgess (Burgess, 2002) en Butler (Butler, 2009) wordt de emissie van N_2O gebruikt als mogelijk alarmsignaal voor een verslechterende nitrificatie. In bovengenoemde onderzoeken wordt de vorming van N_2O tijdens nitrificatie voornamelijk toegeschreven aan autotrofe denitrificatie door ammoniumoxideerders, waarbij nitriet wordt omgezet naar N_2O .

De belangrijkste procesparameters die de vorming van N_2O beïnvloeden tijdens nitrificatie zijn de zuurstof-, en nitrietconcentratie. De zuurstofconcentratie in de nitrificatietank wordt beïnvloed door de mate van beluchting. De eerste stap van de nitrificatie is obligaat aëroob, dit betekent dat moleculair O_2 aanwezig moet zijn. Dit geldt niet voor de volgende stappen (2 - 3) waar de weergegeven zuurstof kan worden vervangen door nitriet. Dit proces treedt op bij lage zuurstofconcentraties wanneer AOB nitriet reduceren in stap 3 om zuurstof te besparen voor de eerste stap (Temmink 2008). Bij de reductie van nitriet door AOB wordt NO en N_2O gevormd. Dat lage O_2 concentraties leiden tot N_2O emissie werd aangetoond door Burgess (Burgess, 2002) en Butler (Butler 2009).

Bij zuurstofconcentraties lager dan 1 mg/l werd een toename van de N_2O concentratie in de gasfase gemeten. Met deze stijging in N_2O werd ook een stijging van de nitrietconcentratie gemeten. Hetzelfde effect trad op wanneer het systeem werd blootgesteld aan een ammoniumpiek. Op dat moment daalde de O_2 concentratie en werd een verhoging van de nitrietconcentratie waargenomen en een verhoogde N_2O productie (Burgess, 2002; Butler; 2009). Een zelfde effect werd ook waargenomen door Gejlsbjerg (Gejlsbjerg, 1998). De productie van N_2O in de nitrificatietank kan dus plaatsvinden wanneer de zuurstofconcentratie laag is en denitrificatie door AOB's plaats vindt. Dit proces vindt ook plaats wanneer door piekbelastingen (ammonium) de nitrietconcentratie in de nitrificatietank stijgt.

DENITRIFICATIE

Heterotrofe denitrificatie vindt onder anoxische omstandigheden plaats via vier opeenvolgende stappen, waarbij organisch substraat als koolstofbron en nitraat als electronen-acceptor wordt gebruikt (weergave uit Otte, 2000).

$2NO_{3}^{-} + 4H^{+} + 4e^{-}$	\rightarrow	$2NO_{2}^{-} + 2H_{2}O$	(8)
2NO ₂ ⁻ + 4H ⁺ + 2e ⁻	\rightarrow	$2NO + 2H_2O$	(9)
2NO + 2H ⁺ + 2e ⁻	\rightarrow	$N_{2}O + H_{2}O$	(10)
$N_{2}O + 2H^{+} + 2e^{-}$	\rightarrow	$N_{2} + H_{2}O$	(11)

Overall leidt dit tot de volgende reactie:

$$2NO_3^{-} + 12H^+ + 10e^- \rightarrow N_2^{-} + 6H_2O$$
(12)

In tegenstelling tot de nitrificatie is N₂O hier wel een tussenproduct.

De belangrijkste condities waaronder tijdens denitrificatie N_2O kan worden gevormd zijn lage zuurstofconcentraties, hoge nitrietconcentraties en een tekort aan organisch substraat. Bij lage zuurstofconcentraties kan remming optreden van het enzym N_2O reductase. Dit enzym is verantwoordelijk voor de omzetting van N_2O naar N_2 . In één onderzoek is gevonden dat bij zuurstofconcentraties van 0.4 mg/l, N_2O gevormd wordt (Otte, 1996). Verhoogde concentraties nitriet leiden tot een lagere omzettingssnelheid van nitraat en een accumulatie van NO en N_2O . Dit effect werd waargenomen door zowel Schulthess als Tallec, waarbij in het laatste onderzoek een 4 tot 8 maal verhoogde N_2O emissie werd waargenomen bij nitrietconcentraties van 10 mg/l (Kampschreur, 2009). Bij een tekort aan organisch substraat wordt aangenomen dat er te weinig energie is om NO_3^- volledig te reduceren naar N_2 . Op laboratoriumschaal is waargenomen dat bij een CZV/N verhouding lager dan 5 de emissie van N_2O toeneemt (Temmink 2008). De gemiddelde CZV/N verhouding van Nederlands huishoudelijk water ligt hoger, namelijk 10,8. Hierbij speelt echter ook de biodegradeerbaarheid van het CZV een grote rol, waardoor de CZV/N verhouding in de praktijk lager kan liggen (Temmink, 2008).

De emissie van N_2O kan ook plaatsvinden door de afwisselende blootstelling van actief slib aan anoxische en aërobe omstandigheden.

De emissie van N_2O lijkt te worden verhoogd wanneer bacteriën worden blootgesteld aan sterk wisselende condities (Kampschreur et al, 2008). In een onderzoek beschreven door Otte (Otte *et al.*, 1996) werd dit fenomeen waargenomen met reinculturen van *Alcaligenes faecalis*. In dit onderzoek werd een toename in N_2O productie zichtbaar wanneer deze reincultuur afwisselend werd blootgesteld aan anoxische en aërobe condities door verandering in substraat of door toevoeging van zuurstof.

De belangrijkste procesparameters die de vorming van N_2O tijdens de denitrificatie beïnvloeden zijn samengevat in figuur 2.



FOSFAATVERWIJDERING

Uit enkele onderzoeken is gebleken dat bij de aanwezigheid van ijzer nitriet kan worden omgezet naar N_2O (Tai&Dempsey, 2009, Coby&Picardal, 2005). Dit effect is tot nu toe alleen in het laboratorium waargenomen en nog niet in de praktijk. Ook biologische fosfaatverwijdering is in het verleden in verband gebracht met verhoogde N_2O emissies. Dit is gebaseerd op een laboratoriumschaal studie, uitgevoerd met een bio-P systeem waarin ook veel glycogeen-accumulerend organismen aanwezig waren (Zeng et al 2003, Lemaire et al 2006). Niet duidelijk is waarom dit systeem een hoge N_2O emissie kende. In een andere reactor (laboratoriumschaal) met bio-P en denitrificatie was de N_2O emissie verwaarloosbaar (Kuba et al 2006).

2.4.2 N₂O VORMING DOOR NIEUWE STIKSTOFVERWIJDERINGSTECHNIEKEN

De laatste jaren zijn er nieuwe technieken ontwikkeld voor de verwijdering van stikstof uit afvalwater. De belangrijkste drijfveren hiervoor zijn het besparen van energie en ruimte. Deze nieuwe technieken zijn:

- BABE
- SHARON
- anammox
- CANON

Bovengenoemde technieken worden toegepast op waterstromen met een hoog stikstofgehalte. Als gevolg hiervan zou een hogere emissie van N_2O verwacht kunnen worden. In de praktijk zijn er weinig N_2O metingen uitgevoerd aan bovenstaande systemen. Wel is de emissie van N_2O gemeten van de nitritatie – anammox reactor op de rwzi Dokhaven-Sluisjesdijk (Kampschreur, 2008). Uit deze metingen blijkt dat beide reactoren N_2O emitteren (meer informatie in paragraaf 2.5). Ook in het CANON proces is N_2O gemeten. Tijdens deze metingen werd een N_2O emissiefactor van 1,2% (t.o.v. stikstofvracht reactor) gerapporteerd (Kampschreur, 2009).

2.4.3 EMISSIE VAN N20

In de voorgaande paragrafen is uitgebreid stil gestaan bij de vorming van N_2O . Echter, vorming van N_2O hoeft niet gelijk te resulteren in emissie. Dit is afhankelijk van de locatie waar N_2O gevormd wordt en de oplosbaarheid van N_2O . De mate waarin N_2O in oplossing kan blijven is in grote mate afhankelijk van de temperatuur van het slib/watermengsel. De oplosbaarheid van N_2O als functie van de temperatuur is samen met de oplosbaarheid van O_2 weergegeven in figuur 3. Uit deze figuur blijkt dat de oplosbaarheid van N_2O vele malen groter is dan van O_2 . Vanwege de goede oplosbaarheid kan een gedeelte van het gevormde N_2O in opgeloste vorm via het effluent de rwzi verlaten, waardoor emissie van N_2O na de rwzi mogelijk plaatsvindt. Emissie van N_2O kan na de lozing van het effluent ook nog plaatsvinden door omzetting van de resterende stikstofcomponenten in het effluent.



Als laatste bestaat de mogelijkheid dat door overbeluchting de emissie van N₂O toeneemt. In een korte periode werd in een full-scale nitritatiereactor een stijging van de N₂O emissie waargenomen bij een toenemende luchtdebiet, waarna bij een afnemend luchtdebiet de concentratie N₂O gelijk bleef. Dit laat zien dat N₂O emissie concentratie gedreven processen kunnen zijn (Kampschreur, 2009).

2.4.4 MEETMETHODIEKEN N20

De tot nu toe gerapporteerde N₂O metingen aan full scale installaties zijn voornamelijk uitgevoerd met een drijvende box die op het wateroppervlak van een tank wordt gelegd. Het principe van deze box wordt schematisch weergegeven in figuur 4. In dezelfde figuur wordt een voorbeeld gegeven van een drijvende box in de praktijk. Deze drijvende boxen zijn gebaseerd op de door de EPA (United States Environmental Protection Agency) voorgeschreven meetmethode voor het meten van gasemissies van waterzuiveringsinstallaties. In deze box wordt een dragergas (meestal stikstof) met een vastgesteld debiet toegevoerd, en gemengd met het gas uit de tank. Vanuit de box wordt het gemengde gas geanalyseerd. Om de opbouw van druk in de box te minimaliseren wordt deze uitgerust met een overdrukaflaat, daarnaast wordt de temperatuur in de box gemeten. Om een goed beeld te krijgen van de emissies van gassen wordt de box op meerdere plaatsen in de tank neergelegd. Door de verwachtte en gerapporteerde variatie van N_2O emissies in plaats en tijd kan deze meetmethode leiden tot een onder,- of overschatting van de N_3O emissie.

FIGUUR 4

LINKS: SCHEMATISCH OVERZICHT VAN EEN DRIJVENDE BOX VOOR HET METEN VAN DE EMISSIE VAN ONDER ANDERE N2O ZOALS ONTWORPEN EN GEBRUIKT DOOR WERF (VS, KARTIK CHANDRAN). RECHTS EEN VOORBEELD VAN DEZE BOX IN DE PRAKTIJK (BRON: ELENA SENANTE, SUEZ-ENVIRONMENT; Q1 EN Q2 INGAANDE EN UITGAANDE GASSTROOM)





2.5 EMISSIES VAN BROEIKASGASSEN IN DE PRAKTIJK

De emissie van broeikasgassen door een rwzi is zowel nationaal als internationaal op zeer beperkte schaal gemeten. Bij de onderzoeken die hebben plaatsgevonden lag de nadruk met name op de emissie van N_2O en in veel mindere mate op de emissie van CH_4 . Dit valt te verklaren door het feit dat N_2O een veel sterker broeikasgas is dan CH_4 (zie tabel 4). Voor zover bekend is er slechts één onderzoek uitgevoerd naar de emissie van CH_4 uit rwzi's (Czepiel, 1993). In dit onderzoek werd op basis van metingen aan een communale zuivering met een gemiddeld debiet van 3.000 m³/d en 250 mg BOD₅/l, een methaanemissie van 39 g per persoon per jaar gemeten.

Voor N_2O geldt dat er meer metingen uit de praktijk beschikbaar zijn. Een samenvatting van deze metingen is weergegeven in tabel 2. Naast de metingen op praktijkschaal zijn er tevens metingen uitgevoerd op laboratoriumschaal. Uit deze metingen op laboratoriumschaal blijkt dat de emissie van N_2O een grote variatie vertoont, er werden emissiefactoren gevonden variërend tussen de 0 en 90% (Kampschreur, 2009). De metingen op laboratoriumschaal leveren inzicht op in de vormingsprocessen van N_2O en welke procesparameters daarin een rol spelen. De resultaten van al deze laboratoriumtesten zijn niet in dit rapport opgenomen, voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar het overzichtsartikel van Kampschreur (Kampschreur, 2009).

Kampschreur et al

(2009)

1.2

Referentie	N ₂ 0 emissie als % van de	Beschrijving zuivering	Onderzochte procesparameters
	stikstofvracht		
Czepiel <i>et al</i> (1995)	0,0025	Actiefslibsysteem voor BZV verwijdering	Temperatuur
Körner (1993)	0,01 - 0,33	Actiefslibsysteem Oxidatiebed Oxidatietank Laagbelast actiefslibsysteem	NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , BZV_5 , CZV , O_2^- , pH en temperatuur
Sümer <i>et al</i> (1995)	0,001	Actiefslibsysteem met anaërobe tank en voordenitrificatie	NO_2^- en NO_3^-
Sommer <i>et al</i> (1998)	0,02	Zelfde als Sümer	$\rm NH_4^+$, $\rm NO_3^-$, $\rm NO_2^-$, $\rm BZV_5$, CZV, $\rm O_2$, pH, temperatuur, $\rm N_2O$ in vloeistoffase
Wicht en Beire (1995)	Min. 0 gem. 0,6 – max 15	25 verschillende rwzi's	-
Kimochi <i>et al</i> (1998)	0,01 - 0,08	Actiefslibsysteem met simultane nitrificatie/denitrificatie	NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , TN , PO_4^-P , $O_2^ N_2O$ in vloeistoffase
BKH (1994)	0,006 - 0,07	Groenedijk en Alblasserdam (laag belast)	-
Kampschreur <i>et al</i> (2008)	1,7 (nitritatie) 0,6 (anammox)	nitritatie reactor, anammox reactor	0_2 , $N0_2^-$, pH, beluchtingsintensiteit

Canon

TABEL 2 OVERZICHT N2O EMISSIE VAN RWZI'S (AANGEPAST VAN TEMMINK, 2008) EN EEN NITRITATIE - ANAMMOXREACTOR

Het door Czepiel *et al.* (Czepiel *et al.*, 1995) gepubliceerde onderzoek beschrijft de emissie van N_2O van een zuivering die is ontworpen voor de verwijdering van alleen organisch materiaal. De emissie is gemeten in beluchte en onbeluchte delen van de zandvanger, de beluchtingstank en de beluchte en onbeluchte slibopslagtanks. Om de emissie van N_2O van beluchte onderdelen te bepalen werd de vrijgekomen lucht opgevangen in een gaszak. Deze methode werd ook gebruikt voor de emissie vanuit de beluchte slibopslagtanks. Voor de onbeluchte onderdelen werd gebruik gemaakt van de drijvende box. De hoeveelheid N_2O opgelost in het slib-watermengsel werd bepaald vlak voordat het slib werd opgeslagen. De op deze manier gevonden emissie van N_2O resulteerde in een emissiefactor van 3,2 g N_2O ·persoon⁻¹·jaar⁻¹. Opmerkelijk is dat deze emissiefactor door de IPCC ook voor geavanceerde zuiveringen met gecontroleerde stikstofverwijdering door nitrificatie en denitrificatie is overgenomen (IPCC, 2006).

In het door Körner (Körner, 1993) beschreven onderzoek is de emissie van N_2O gemeten van 4 verschillende afvalwaterbehandelingssystemen. De emissie van N_2O werd ook hier gemeten met behulp van een drijvende box. Een deel van de afgezogen lucht werd gedurende 2 uur vastgelegd op een adsorptiemateriaal. Deze meting is gedurende twee weken zevenmaal uitgevoerd. De gevonden emissies varieerden van 0,33% (oxidatiebed) tot 0,01% (laagbelast actiefslibsysteem). Er werd alleen een (positieve) correlatie gevonden tussen de nitraatconcentratie en de N_2O emissie.

In het door Sümer (Sümer *et al.*, 1995) en Sommer (Sommer *et al.*, 1995) beschreven onderzoek is gebruik gemaakt van dezelfde meetmethodiek als Körner (Körner, 1993). In beide gevallen werd de N_2O emissie gemeten van dezelfde rwzi in Giessen (Duitsland). Sümer (Sümer *et al.*, 1995) rapporteerde echter een lagere emissiefactor voor N_2O , waarbij de emissie van N_2O toenam bij verhoogde concentraties NO_2 en NO_3 . Eenzelfde correlatie voor nitriet werd ook

NO,⁻, O, en beluchtingsintensiteit

door Sommer (Sommer *et al.*, 1995) gevonden. In ditzelfde onderzoek bleek de nitrificatietank de grootste bron van N₂O uitstoot te zijn. Opvallend was verder dat in de winterperiode de emissie van de nitrificatietank veel lager (46 g N₂O-N·d¹·tank¹) was dan in de zomer (936 g N₂O-N·d¹·tank¹). Dit kan worden verklaard met de gevonden hoeveelheid opgeloste N₂O-N. Dit bedroeg in de winterperiode 2.310 g N₂O-N·d¹·tank¹. Deze opgeloste hoeveelheid is groter dan in de zomer (800 g N₂O-N·d¹·tank¹), daarmee wordt een hogere productie van N₂O waargenomen in de winter dan in de zomer.

Verder is in Duitsland door Wicht en Beire (Wicht en Beire, 1995) de emissie van N_2O van 25 communale rwzi's bepaald. Uit dit onderzoek blijkt dat op 13 van de 25 zuiveringen N_2O niet detecteerbaar was. De maximale emissiefactor die werd gemeten bedroeg 15% van de stikstofvracht. Ook in dit onderzoek werd de emissie van N_2O gemeten door middel van een drijvende box op het wateroppervlak.

Kimochi (Kimochi *et al.*, 1998) onderzocht de emissie van N₂O van een actiefslibsysteem waarin denitrificatie en nitrificatie plaats vond in één tank door het in-, en uitschakelen van de beluchting. De mate van N₂O emissie en stikstofverwijdering werd onderzocht als functie van de tijdsduur van de anoxische periode. De tijdsduur werd gevarieerd van 30 – 90 minuten, waarbij de tijdsduur voor de beluchte periode altijd 30 minuten bedroeg. In een controle experiment werd 90 minuten lang belucht. In alle gevallen werd de hoogste emissie gevonden tijdens de beluchte fase. Ook in dit onderzoek werd de emissie bepaald door middel van een drijvende box op het wateroppervlak.

De eerste praktijkmetingen in Nederland zijn uitgevoerd in 1994 bij de rwzi's in Groenedijk en Alblasserdam (STOWA, 2007 – W – 10). Beide rwzi's zijn laagbelaste systemen. De op de rwzi Groenedijk aanwezige carrousel was ten tijde van het onderzoek in 1994 volledig afgedekt, dit gold niet voor de rwzi Alblasserdam. In het geval van Groenedijk is de N₂O concentratie gemeten in de afgezogen lucht van de carrousel, in Alblasserdam is gebruik gemaakt van een fluxkamer. In beide gevallen werd de N₂O concentratie gemeten door gebruik van een foto-akoestische spectrofotometer¹.

Verder zijn in Nederland metingen verricht aan de nitritatie-anammox reactor bij de rwzi Dokhaven – Sluisjesdijk (Kampschreur *et al.*, 2008). Deze reactor behandelt het rejectiewater afkomstig van de slibvergisting van het slibverwerkingsbedrijf Sluisjesdijk. De berekende emissiefactor² van 1,7% (nitritatie) en 0,6% (anammox) ligt hoger dan de emissiefactor vanuit de gerapporteerde actiefslibsystemen.

Dit wordt waarschijnlijk verklaard door de hoge nitrietconcentraties die de vorming van N₂O stimuleren. De vorming van N₂O werd toegeschreven aan ammoniumoxideerders. De emissie van N₂O lijkt ook te worden beïnvloed door de intensiteit van de beluchting, waarmee de suggestie wordt gewekt dat de vorming van N₂O mogelijk een concentratie gedreven proces is. Dit laatste komt overeen met de bevindingen in volledige nitrificatiesystemen. De concentratie N₂O (en NO) is bepaald door analyse van de afgezogen lucht van beide reactoren.

¹ Foto-akoestisch: door middel van een laserstraal wordt een volume lucht doorschenen waarbij specifieke moleculen een akoestisch signaal afgeven wat een maat is voor de concentratie van het desbetreffende gas (BKH, 1994).

² De gerapporteerde emissiefactoren zijn bepaald aan de hand van binnenkomende stikstofvracht (uit de slibverwerking) van de Sharon en Anammox reactor.

Bij onderzoek aan de Canon reactor in Olburgen (Kampschreur, 2009) werd een emissiefactor van 1,2% berekend voor N_2O . De Canon reactor behandelt het afvalwater van een aardappelfabriek en het rejectiewater van een rwzi. De emissie van N_2O werd beïnvloed door de nitrietconcentratie in de reactor, bij hoge nitrietconcentraties leidde dit tot hoge N_2O emissie. Verder lijkt ook een verhoogde beluchtingsintensiteit te leiden tot een verhoogde emissie. De concentratie N_2O is bepaald in de 'headspace' van de reactor.

2.6 VERWIJDERINGSTECHNIEKEN VOOR BROEIKASGASSEN

Voor de behandeling van afgezogen lucht wordt voornamelijk gekeken naar de verwijdering van geurcomponenten. Voor de behandeling van geurcomponenten zijn verschillende technieken beschikbaar:

- biofilters;
- lavafilters;
- gaswassers;
- actiefkoolinstallaties.

Deze technieken worden op rwzi's niet ingezet voor de verwijdering van methaan en lachgas. Over een eventuele verwijdering van deze gassen door deze technieken is dan ook niets bekend. Voor de verwijdering van methaan geldt dat hier wel onderzoek naar wordt gedaan binnen de veehouderij.

Het gaat hier om de reiniging van afgezogen lucht uit stallen of mestopslagen. In een door Melse (Melse, 2003) geschreven rapport is onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om methaan te verwijderen met biofilters. De belangrijkste conclusie uit dit onderzoek is dat als gevolg van de lage oplosbaarheid van methaan in water de behandeling van grote luchtstromen (70.000 m³/h) met lage methaanconcentratie (107 ppm) de toepassing van biofilters vanwege economische redenen niet interessant is. Over de verwijdering van lachgas met bovenstaande technieken is weinig bekend. De mate waarin lachgas met bovenstaande technieken kan worden verwijderd hangt af van de verblijftijd in het filter en de aanwezigheid van een koolstofbron.

3 MEETPROGRAMMA

3.1 SELECTIECRITERIA RWZI'S

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in de emissie van broeikasgassen op Nederlandse rwzi's. Hierbij is de nadruk gelegd op de emissie van N_2O omdat dit een veel sterker broeikasgas is dan CH_4 . Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat de emissie van N_2O kan variëren in tijd en plaats. Om die reden is ervoor gekozen om de totale emissie te meten van een zuivering over een langere periode. Dit is niet mogelijk met de drijvende box. Om de totale emissie te kunnen meten zijn rwzi's geselecteerd die volledig zijn afgedekt. Van deze volledig afgedekte zuiveringen is gekeken naar verschillen in CZV/N verhouding in het influent, omdat dit volgens de literatuur een belangrijke procesparameter is voor de vorming van N_2O . Tenslotte dienden de rwzi's representatief te zijn voor de rest van Nederland. Dit betekent de behandeling van voornamelijk huishoudelijk afvalwater (geen grote bijdrage van industriële lozers) en stikstof eisen (10 mg/l) voor het effluent.

Samengevat waren de selectiecriteria als volgt:

- volledig afgedekt;
- lage en hoge CZV/N verhouding;
- bio-P en chemische P verwijdering;
- N-eisen (10 mg/l);
- v (voornamelijk) huishoudelijk afvalwater.

Op basis van bovenstaande criteria zijn de volgende rwzi's geselecteerd:

- rwzi Papendrecht (geen voorbezinktank, puntbeluchting, bio-P);
- rwzi Kralingseveer (wel voorbezinktank, bellen-, en puntbeluchting en slibgisting);
- rwzi Kortenoord (geen voorbezinktank, puntbeluchting, gedeeltelijke chemische-P).

De metingen zijn gestart in Papendrecht (22-9-2008 – 30-9-2008), gevolgd door Kralingseveer (13-10-2008 – 21-10-2008). Om te onderzoeken of er een effect van temperatuur kon worden waargenomen op de emissie van N_2O is op Kralingseveer een tweede periode gemeten (9-2-2009 – 16-2-2009). Daarnaast is het mogelijke effect van chemische fosfaatverwijdering door middel van een ijzerzout onderzocht. Hiervoor is gekeken naar een vergelijkbare zuivering als Papendrecht: de rwzi Kortenoord. Deze zuivering heeft een vergelijkbare configuratie als Papendrecht en is als laatste geselecteerd. De metingen zijn uitgevoerd in de periode (29-5-2009 – 4-6-2009), in deze periode was de watertemperatuur op Kortenoord vergelijkbaar met de watertemperatuur in september op Papendrecht.

3.2 MEETMETHODIEK

3.2.1 N₂O EN CH₄ METINGEN

Om inzicht te krijgen in de totale emissie van broeikasgassen op een rwzi is N_2O online gemeten in de afgezogen lucht en zijn voor CH_4 steekmonsters genomen op plaatsen waar CH_4 vorming verwacht kan worden (zie figuur 1). In alle meetweken zijn op de onderzochte rwzi's minimaal 2 maal gasmonsters voor methaanbepaling genomen, waarvan in ieder geval 1 maal tijdens het verladen van ontwaterd slib.

De methaanmonsters zijn genomen met het gebruik van gaszakken. De methaanconcentratie van het gas in de gaszakken is op het laboratorium van de TU Delft geanalyseerd op een Varian 3800 Custom solutions gaschromatograaf (capillaire CP-Sil 5CB 50m x 0.32 mm, df=5um kolom i.c.m. een Vlam Ionisatie Detector). Een voorbeeld van een monstername voor CH_4 is gegeven in figuur 5.

FIGUUR 5

VOORBEELD VAN HET NEMEN VAN EEN MONSTER VOOR CH, (KRALINGSEVEER)



N₂O monstername en analyse

Voor de analyse van N_2O is gebruik gemaakt van een aangepaste MLT4 Rosemount analyzer van de firma Emerson. De gebruikte analyzer is in staat de gassen, N_2O , NO, CO_2 en O_2 te meten op vier kanalen waardoor het mogelijk is gassamenstelling op 4 locaties sequentieel te bepalen. De specificaties van de analyzers zijn weergegeven in tabel 3.

SPECIFICATIES VAN DE AANGEPAST MLT ROSEMOUNT ANALYZER

Component	0 ₂	CO ₂	NO	N ₂ 0
Meetmethode	Paramagnetisch	10 mm IR meetcel	200 mm IR meetcel	200 mm IR meetcel
Meetbereik	0 - 2/25%	0 - 0.5/5%	0 – 150/300 ppm	0 – 200/2.000 ppm
Nauwkeurigheid	1%	1%	1%	1%
Bijzonderheden	Temperatuur, 55°C		Temperatuur, 55°C	Temperatuur 55°C, wordt gecompenseerd voor CO ₂

Calibratie van de analyzer vond plaats door middel van een 2 puntscalibratie met ijkgassen voor elk individueel gas voorafgaand aan elke meetperiode. De opgegeven nauwkeurigheid van de analyzer bedraagt 1%. Eén van de 4 meetkanalen is bij alle meetsessies aangewend voor meting van de buitenlucht. Deze meetwaarde is gebruikt om de gasproductie of –consumptie (respectievelijk $N_2O/NO/CO_2$ en O_2) vast te stellen.

Op deze manier is ook een eventuele verschuiving van de calibratielijn als gevolg van bijvoorbeeld drukverschil ondervangen.

Een afbeelding van de gebruikte analyzer is weergegeven in figuur 6. Voor een goede analyse van het monster is een constante gasflow en een laag vochtgehalte van het gas van belang. Hiertoe zijn in de vierkanaals kleppenkast een gaspomp met flowregelaar en een Permapure droogbuis geïnstalleerd. Op deze manier wordt in principe een stabiel signaal in de analyser verkregen. Gedurende het onderzoek is gebleken dat de droogcapaciteit van de Permapure droogbuis niet altijd afdoende bleek en daarom is er condensersysteem met pompen (respectievelijk box 1 en 2 in figuur 6) ten behoeve van de monstername voor de analyser geplaatst. Hierbij wordt aangetekend dat bij de meting in Papendrecht nog geen koelsysteem aanwezig was.

FIGUUR 6

TABEL 3

OPSTELLING N₂O ANALYSER (LINKS), MET IN DE CIRKEL DE 4 KANALEN VAN DE ANALYSER. RECHTS DE ANALYSER OPSTELLING IN KRALINGSEVEER MET IN BOX 1 HET KOELSYSTEEM VOOR DE GASSEN EN IN BOX 2 DE POMPEN VOOR DE RECIRULATIE VAN DE GASSEN





3.2.2 METING GASDEBIET

Op de plaatsen waar de samenstelling van de afgezogen lucht is gemeten (N_2O en CH_4), is tevens het gasdebiet bepaald. Tijdens de meetweken in Papendrecht en Kralingseveer is gebruikt gemaakt van een pitotbuis. De door de pitotbuis waargenomen drukverschillen werden uitgelezen als gassnelheden (m/s). De meting van de gassnelheden zijn per meetperiode minimaal twee maal uitgevoerd, waarbij per keer de meting in duplo is verricht. De gassnelheid van een enkele meting werd bepaald aan de hand van een puntgemiddelde, waarbij de gassnelheden op 20 – 40 individuele punten over de gehele doorsnede van de leiding zijn gemeten. Op basis van de opgegeven diameters zijn vervolgens de gasdebieten berekend.

Tijdens de meetperiode in Kortenoord is voor de bepaling van het gasdebiet gebruik gemaakt van een anemometer met hittedraadsonde van Testo (435-1). Per meting werd het gemiddelde gasdebiet bepaald aan de hand van 40 – 50 individuele metingen over de gehele doorsnede van de buis en de opgegeven buisdiameter. De gasdebieten werden op alle meetlocaties driemaal in duplo bepaald.

Bij de meting van het gasdebiet kunnen meetfouten optreden. Om de meetfout te kunnen bepalen is uitgegaan van een door Testo aangeleverde foutenberekening (Testo, 2001). Deze foutenberekening is weergegeven in bijlage 4. De op deze manier berekende meetfout is vergeleken met de afwijking tussen de meetdata die in een week werden gevonden. Indien de afwijking binnen de meetfout lag wordt de emissie van N_2O of CH_4 berekend aan de hand van een gemiddeld gasdebiet die week. Indien de afwijking buiten de meetfout lag, wordt de emissie van CH_4 of N_2O per dag gerapporteerd.

3.2.3 OVERIGE METINGEN

Om inzicht te krijgen in de mogelijke oorzaken van N₂O vorming en emissie en om zuiveringen onderling te vergelijken zijn naast de gasmetingen gedurende de meetweken de volgende gegevens verzameld:

- Gegevens BBS (beelschermbedieningssysteem)
 - Influent- en effluentdebieten;
 - Uitlezing aanwezige sensoren;
 - Energieverbruik ventilatoren en beluchting (indien in BBS).
- Resultaten laboratorium
 - Samenstelling 24 uurs monsters influent en effluent (CZV, BZV, Ntotaal, NH₄-N, NO₃-N; P_{totaal}, PO₄-P);
 - Indien aanwezig: samenstelling afvalwater na voorbezinktank;
 - Droge stof gehalte en SVI slib.
- Controle metingen
 - NH₄-N, NO₃-N en NO₂-N met Dr. Lange tests

Een overzicht van de aanwezige sensoren zal bij de bespreking van de zuiveringen worden weergegeven.

3.3 BEREKENINGEN

3.3.1 CO, - EQUIVALENTEN

Om inzicht te krijgen in de totale emissie van broeikasgassen op een zuivering wordt behalve naar de emissie van N₂O en CH₄ ook gekeken naar het verbruik en elektriciteit en aardgas. Om de diverse bronnen met elkaar te vergelijken zijn deze allemaal omgerekend naar CO_2 equivalenten. De omrekeningsfactoren naar CO_2 equivalenten zijn samengevat in tabel 4.
TABEL 4

OMREKENINGSFACTOREN NAAR CO2 EQUIVALENTEN

	Omrekeningsfactor	Eenheid
Elektriciteit	0,671)	kg CO ₂ /kWh
Aardgas	1,81)	kg CO ₂ /Nm ³
N ₂ 0	298 ²⁾	kg $CO_2/kg N_2O$
CH ₄	25 ²⁾	kg $\rm CO_2/$ kg $\rm CH_4$

1) Overeenkomstig gehanteerde factoren binnen de MJA-3

2) GWP AR4: Bijgestelde GWP in IPCC Fourth assessment report, 2007 (IPCC,2007)

3.4 KARAKTERISTIEKEN RWZI PAPENDRECHT

De rwzi Papendrecht is in zijn geheel afgedekt met uitzondering van de nabezinktanks (zie figuur 7). De rwzi ontvangt het afvalwater uit de gemeente Papendrecht via een persleiding. Vrijverval leidingen van het Waterschap zorgen voor het transport naar de zuivering.

FIGUUR 7

LUCHTFOTO RWZI PAPENDRECHT (BRON: GOOGLE EARTH*)



De rwzi Papendrecht is in 1996 in gebruik genomen en heeft een capaciteit van 40.000 i.e (à 54 g BZV). Verdere karakteristieken van de rwzi Papendrecht zijn weergegeven in tabel 5.

TABEL 5 ONTWERP RWZI PAPENDRECHT

Parameter	Eenheid	Waarde
Ontwerpcapaciteit	i.e. (54 g BZV)	40.000
Slibbelasting	kg BZV/kg ds·d⁻¹	0,031
Slibbelasting	kg N/kg ds·d-1	0,009
Slibgehalte	g/l	3,9
Debiet	m³/d	11.952
CZV	kg/d	3.542
BZV	kg/d	1.416
Nkj	kg/d	412
CZV / N	-	8,6
BZV / N	-	3,4
P _{tot}	kg/d	63
Zwevende stof	kg/d	-
Anaërobe tank	m³	2x 1.205
Selector	m³	2x 235
Beluchtingstanks	m³	2x 5.555
Nabezinktanks	aantal	2
Oppervlakte	m²	2x 1.288

Het ontwerp van de rwzi Papendrecht is gebaseerd op de effluenteisen uit tabel 6.

TABEL 6	EFFLUENTEISEN RWZI PAPENDRECHT	
Component	Effluenteis (mg/l)	Omschrijving
BZV	20	Als maximum in etmaalmonster
Zwevende stof	30	Als effluent droogrest, voortschrijdend rekenkundig gemiddelde van 10 opeenvolgende monsters
N _{totaal}	10	Als jaargemiddelde
P _{totaal}	2	Voortschrijdend gemiddelde over 10 monsters

Een schematische weergave van de rwzi Papendrecht is weergegeven in figuur 8.



SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE RWZI PAPENDRECHT, MET WATER-, SLIB- EN LUCHTLIJN



3.4.1 BELUCHTING

Op de rwzi Papendrecht zijn twee beluchtingstanks aanwezig die elk zijn voorzien van puntbeluchting. De karakteristieken van de puntbeluchters zijn:

- Aantal puntbeluchters 2
- Vermogen(as) puntbeluchters 82,5 kW
- Luchttoevoer puntbeluchters (alleen aan als puntbeluchters aan)
- Capaciteit per stuk 6500 m³/h
- Vermogen per stuk 4 kW

3.4.2 PROCESREGELING

Op de rwzi Papendrecht zijn de volgende sensoren aanwezig:

- Zuurstof (2x in beluchtingstanks)
- Redox (2x in beluchtingstanks)

Nitrificatie en denitrificatie vinden in de twee beluchtingstanks plaats.

Het aan- en uitschakelen van de beluchting gebeurt op basis van de redoxmeting in combinatie met tijdklokken. Bij een vastgestelde lage redox waarde wordt de beluchting aangeschakeld; wanneer de bovengrenswaarde van de redoxpotentiaal is bereikt wordt de beluchting gestopt. De mate van beluchting wordt bepaald door het verschil tussen de gemeten O_2 concentratie en het O_2 setpoint. Het debiet van het retourslib is gekoppeld aan het influentdebiet. De verdeling van het retourslib tussen selector en anaërobe tank wordt handmatig ingesteld en is afhankelijk van de gewenste vlokbelasting in de selector.

3.4.3 LUCHTBEHANDELING

In figuur 8 zijn de water,-slib en luchtlijn weergegeven. In de luchtlijn zijn ook de ventilatoren weergegeven. De specificaties van de ventilatoren zijn weergegeven in tabel 7.

Ventilator	Plaats	Capaciteit (m³/h)	Vermogen (kW)	Continue ja/nee
	Tussen lavafilters	750	1,5	Ja
P3910	Voor compostfilters van beluchtingsstraat	17.000	7,5	Ja
P3950	Voor compostfilters van beluchtingsstraat 2, selector, anaërobe tank en slibretourgemaal	8.000	7,5	Ja
P8010	Slibontwateringsgebouw en zeefbandpers	1.500	7,5	Ja (zeefbandpers niet aangesloten)

TABEL 7 KENMERKEN VENTILATOREN OP RWZI PAPENDRECHT

De afgezogen lucht wordt naar twee verschillende luchtbehandelingsinstallaties geleid. De lucht van het ontvangwerk, influentgemaal, en harkrooster wordt behandeld in twee lavafilters. De lucht van de overige onderdelen wordt behandeld in twee compostfilters. De totale ontwerpcapaciteit bedraagt 19.000 m³/h.

3.4.4 METINGEN OP RWZI PAPENDRECHT

In figuur 9 is een lay-out schets gegeven van de rwzi Papendrecht waarin de verschillende meetpunten zijn aangegeven.

Kanaal 1 en 2 van de analyser zijn gebruikt voor de metingen in de afgezogen lucht (exclusief ontvangwerk, influentgemaal en harkroosters). De afgezogen lucht van de twee beluchtingstanks gezamelijk is gemeten met kanaal 3. Kanaal 4 is gebruikt om de buitenlucht te meten. Een overzicht van de vier kanalen is weergegeven in figuur 10.

De methaanmetingen zijn drie maal uitgevoerd, met uitzondering van de meting tijdens het verladen van het slib. Deze meting is één keer uitgevoerd, omdat slechts eenmaal per week slib wordt opgehaald.





FIGUUR 10 OVERZICHT VAN DE 4 KANALEN IN PAPENDRECHT. A: KANAAL 1: BELUCHTINGSCIRCUIT 2, SELECTOR EN ANAËROBE TANK. B: KANAAL 2: BELUCHTINGSCIRCUIT 1. C: KANAAL 3: MENGSEL BELUCHTINGSCIRCUIT 1 EN 2, OP DE FOTO IS HET PUNT OP BELUCHTINGSCIRCUIT 1 TE ZIEN.



3.5 KARAKTERISTIEKEN RWZI KORTENOORD

De rwzi Kortenoord is in zijn geheel afgedekt met uitzondering van de nabezinktanks (zie figuur 11).

FIGUUR 11 LUCHTFOTO RWZI KORTENOORD (BRON: GOOGLE EARTH®)



De karakteristieken van de rwzi Kortenoord zijn weergegeven in tabel 8.

TABEL 8 KARAKTERISTIEKEN RWZI KORTENOORD

Parameter	Eenheid	Waarde
Ontwerpcapaciteit	i.e. (54 g BZV)	100.000
Slibbelasting beluchtingscircuit 2	kg BZV/kg ds⋅d ⁻¹	0,060
Slibbelasting beluchtingscircuit 2	kg N/kg ds∙d-1	0,012
Slibgehalte	g/l	4
Debiet (DWA)	m³/d	24.650
CZV	kg/d	13.875
BZV	kg/d	5.400
Nkj	kg/d	1.200
CZV / N	-	11,6
BZV / N	-	4,5
P _{tot}	kg/d	200
Zwevende stof	kg/d	5.500
Selector	m³	572
(voor)Denitrificatie	m³	3.500
Beluchtingscircuit 1	m³	6.200
Beluchtingscircuit 2	m³	20.200
Nabezinktanks	aantal	4
Oppervlakte	m²	9.890

Op dit moment is alleen circuit 2 met een biologische capaciteit van 81.000 i.e in bedrijf. Afhankelijk van de ontwikkelingen binnen het verzorgingsgebied, zoals nieuwbouw en aansluiting van de glastuinbouwbedrijven zal circuit 1 met bijbehorende nabezinktanks in bedrijf worden genomen. Verder wordt de voordenitrificatieruimte nu bedreven als anaërobe reactor om zoveel mogelijk P biologisch (~70%) te verwijderen. De overige P wordt in beluchtingscircuit 2 met ijzersulfaat chemisch (~30%) verwijderd.

Het afvalwater is afkomstig uit de gemeentes Nieuwerkerk aan den IJssel, Moordrecht, Bleiswijk, Zevenhuizen, Moerkapelle en de Rotterdamse wijk Nesselanden. Het afvalwater uit deze gemeentes wordt met behulp van een persleidingenstelsel naar de rwzi Kortenoord gevoerd.

Het ontwerp van de rwzi Kortenoord is gebaseerd op de effluenteisen uit tabel 9.

TABEL 9

EFFLUENTEISEN RWZI KORTENOORD

Component	Effluenteis (mg/l)	Omschrijving
BZV₅ (atu)	20	In ieder monster
Zwevende stof	30	In ieder monster
N _{totaal}	10	Als jaargemiddelde
P _{totaal}	1,0	Voortschrijdend gemiddelde over 10 opeenvolgende waarnemingen

Een schematische weergave van de rwzi Kortenoord zoals deze op het moment van meten werd bedreven is weergegeven in figuur 12.

FIGUUR 12

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE RWZI KORTENOORD, MET WATER-, SLIB- EN LUCHTLIJN



24

De sliblijn op de rwzi Kortenoord bestaat uit slibindikkers, centrifuges en een slibsilo. Het ontwaterde slib wordt getransporteerd naar de slibverbrandingsinstallatie in Dordrecht.

3.5.1 BELUCHTING

Op de rwzi Kortenoord zijn in beluchtingscircuit 2 drie puntbeluchters aanwezig. De karakteristieken van de puntbeluchters zijn:

- Aantal puntbeluchters 3 stuks
- Vermogen puntbeluchters 132 kW
- O₂ inbreng 249 kg/h

3.5.2 PROCESREGELING

Aanwezige sensoren in circuit 2 zijn

- 2 O₂ sensoren (42 QICA 2001/2002)
- 1 NH₄-N sensor (42QICA 2004)
- 1 NO₃-N sensor (42QICA 2003)
- 1 PO₄-P sensor (42QICA 2006)

BELUCHTING

Het zuurstofsetpoint wordt berekend op basis van de nitraat- en ammoniummeting. Als de ratio nitraat/ammonium groter is dan de gemeten ammoniumconcentratie neemt de mate van beluchting af. Indien de nitraat ammonium ratio kleiner is dan de gemeten ammoniumconcentratie dan neemt de mate van beluchting toe. De beluchting in het beluchtingscircuit vindt plaats door middel van drie puntbeluchters waarvan er een continu draait. Dit is de puntbeluchter (M4223) in het achterste been van de beluchtingstank (zie figuur 13). Het toerental van de puntbeluchter (M4222) in het middelste been wordt als eerste verhoogd indien dit is gewenst, het toerental van de puntbeluchter (M4221) in het voorste been wordt als laatste verhoogd indien noodzakelijk. Het gewenste toerental van de puntbeluchters is afhankelijk van het berekende zuurstofsetpoint.

Indien de ammoniumconcentratie boven de 5 mg/l komt, wordt het zuurstofsetpoint met 20% verhoogd. Indien de ondergrens van de ammoniumconcentratie (0,40 mg/l) wordt bereikt, wordt het zuurstofsetpoint met 20% verlaagd.

RETOURSLIBVIJZELS

De retourslibvijzels worden geregeld op het effluentdebietsignaal. Tot een instelbare waarde Q_{hh} is het retourslibdebiet rechtstreeks evenredig met een vrij instelbare factor (G) met het effluentdebiet. Bij overschrijding van het effluentdebiet Q_{hh} wordt het retourslibdebiet teruggebracht tot een lager instelbare waarde vijzelcapaciteit Q_{hh} . Gedurende een instelbare tijdsperiode T2 wordt het retourslibdebiet op deze waarde gehandhaafd, waardoor het slibgehalte in de nabezinktanks zal stijgen (buffering).

RECIRCULATIEPOMP

Deze pomp is geïnstalleerd voor het recirculeren van het slib/watermengsel tussen beluchtingscircuit 2 en de voordenitrificatieruimte. Aangezien de voordenitrificatieruimte nu als anaërobe ruimte wordt gebruikt is deze pomp momenteel buiten bedrijf.

3.5.3 LUCHTBEHANDELING

De kenmerken van de ventilatoren aanwezig op de rwzi Kortenoord zijn samengevat in tabel 10.

TABEL 10	KENMERKEN	VENTILATOREN O	P RWZI	KORTENOORD

Ventilator	Plaats	Capaciteit (m³/h)	Vermogen (kW)	Continue ja/nee
P-9004 & P-9005	Tussen lavafilter en compostfilter	3.000 (P-9004)	4	Ja
	harkrooster en zandvanger	2.000 (P-9005)	3	Ja
P-9104 & P9105	Achter retourslibvijzels; Kettingrooster; selector; retourslibgemaal en circuit 1	7.750 (beide)	7,5	Ja
P-9224 & P-9225 & P-9226	Achter circuit 2	9.000 (alle)	11	Ja
P-9303	Achter lavafilter sliblijn	4.000		Ja

3.5.4 METINGEN OP RWZI KORTENOORD

In figuur 13 is een lay-out schets gegeven van de rwzi Kortenoord met daarin de verschillende meetpunten. In het beluchtingscircuit zijn de drie straten voorzien van een puntbeluchter. De motoren van de puntbeluchters staan opgesteld in overdekte ruimtes, waarin ook de ventilatoren opgesteld staan die de lucht afzuigen. In de drie afzuigleidingen hebben de metingen plaats gevonden. Het vierde kanaal is gebruikt om de achtergrondconcentratie in de buitenlucht te meten. Afbeeldingen van de 4 monsternamepunten zijn weergegeven in figuur 14.



LAY-OUT SCHETS VAN DE RWZI KORTENOORD MET DAARIN DE LUCHTLEIDINGEN EN DE MEETPUNTEN (KANALEN 1,2,3 EN 4). DE PIJLEN IN HET BELUCHTINGSCIRCUIT GEVEN DE RICHTING VAN HET SLIB-, WATERMENGSEL AAN



FIGUUR 14

OVERZICHT VAN DE 4 KANALEN IN KRALINGSEVEER. KANAAL 1: BELUCHTINGSCIRCUIT 2 BIJ PUNTBELUCHTER M4223. KANAAL 2: BELUCHTINGSCIRCUIT 2 BIJ PUNTBELUCHTER M4222. KANAAL 3: BELUCHTINGSCIRCUIT 2 BIJ PUNTBELUCHTER M4221. KANAAL 4: BUITENLUCHT (ACHTERGROND)



3.6 KARAKTERISTIEKEN RWZI KRALINGSEVEER

De rwzi Kralingseveer is met uitzondering van de nabezinktanks in zijn geheel afgedekt (zie figuur 15).



LUCHTFOTO RWZI KRALINGSEVEER (BRON GOOGLE EARTH°)



Het te behandelen afvalwater wordt aangevoerd via persleidingen en is afkomstig uit:

- een deel van Rotterdam ten Noorden van de Nieuwe Maas;
- Bergschenhoek;
- gedeelte Capelle aan de IJssel.

De rwzi Kralingseveer is gebouwd in de periode 1983 – 1985 en is sinds 1986 operationeel met een ontwerpcapaciteit van 300.000 i.e. (54 g BZV) Deze capaciteit is 1998 uitgebreid naar 360.000 i.e (54 g BZV). om de te verwachten toename in vrachten tot 2015 te kunnen verwerken. De huidige karakteristieken van de rwzi Kralingseveer zijn weergegeven in tabel 11.

TABEL 11	KARAKTERISTIEKEN RWZI	KRALINGSEVEER

Parameter	Eenheid	Waarde
Ontwerpcapaciteit	i.e. (54 g BZV)	360.000
Slibbelasting	kg BZV/kg ds·d ⁻¹	0,048
Slibbelasting	kg N/kg ds∙d⁻¹	0,024
Slibgehalte	g/l	4,1
Debiet	m³/d	112.000 ³⁾
CZV	kg/d	25.000 ³⁾
BZV	kg/d	7.500 ³⁾
Nkj	kg/d	3.700 ³⁾
CZV / N	-	6,8
BZV / N	-	2,0
P _{tot}	kg/d	500 ³⁾
Zwevende stof	kg/d	10.500 ³⁾
Selector ¹⁾	m³	4.800
Denitrificatie ¹⁾	m ³	3.600
Nitrificatie ¹⁾	m³	8.000
Beluchtingstanks ²⁾	m ³	2x 13.750
Nabezinktanks	Aantal	8
Oppervlakte	m²	17.580

¹⁾ Nieuw actiefslibsysteem gebouwd in 1998

²⁾ Bestaande beluchtingstanks uit 1986

³⁾ Dimensioneringsgrondslag na afloop voorbezinktank, inclusief interne stromen

Het ontwerp van de rwzi Kralingseveer is gebaseerd op de effluenteisen uit tabel 12.

Component	Effluenteis (mg/l)	Omschrijving
BZV	20	Als maximum in etmaalmonster
Zwevende stof	30	Als effluent droogrest, voortschrijdend rekenkundig gemiddelde van 10 opeenvolgende monsters
N_{totaal}	12	Als jaargemiddelde
P _{totaal}	1,3 2,5	Als jaargemiddelde Als maximum voortschrijdend gemiddelde over 10 etmaalmonsters

TABEL 12 EFFLUENTEISEN RWZI KRALINGSEVEER

Voor een vergaande N-verwijdering zijn in 1998 de bestaande beluchtingstanks uitgebreid met een voorgeschakelde denitrificatie en nitrificatieruimte, daarnaast is het systeem uitgebreid met een selector. Het aanwezige fosfaat wordt biologisch verwijderd.

Een schematische weergave van de rwzi is weergegeven in figuur 16.





3.6.1 BELUCHTING

•

In de bestaande beluchtingstanks (BT1 en BT2) is puntbeluchting aanwezig. In de nieuwe aëratietank is in het nitrificatiegedeelte bellenbeluchting aanwezig.

De karakteristieken van de beluchting zijn hieronder weergegeven:

•	Aantal blowers (AT)	3
•	Capaciteit per stuk	12.600 (max), 9.260 (nominaal) en 3.000 (min) Nm³/h
,	Vermogen blowers per stuk	110 kWh

	vermogen biowerb per stak	iio kuu
•	Aantal puntbeluchters (BT)	8

- Capaciteit per stuk 180 kg O₂/h
- Vermogen puntbeluchters per stuk 110 kW (geïnstalleerd), 101 kW (bruto), 90 kW (netto)

3.6.2 PROCESREGELING

Op de rwzi Kralingseveer zijn de volgende sensoren aanwezig:

- 2 O₂ sensoren in nitrificatietank;
- 2x 3 O₂ sensoren in beluchtingstanks BT1 en BT2;
- 2 Temperatuursensoren in beluchtingstanks BT1 en BT2;
- 1x NH₄-N in beluchtingstank (BT2);
- 1x NO₃-N in beluchtingstank (BT2);
- 1x PO₄-P in beluchtingstank (BT2).

In de nitrificatietank bevinden zich twee beluchtingsvelden, één in de nitrificatiezone en één in de facultatieve zone. Ten tijde van de metingen waren beide beluchtingsvelden ingeschakeld. Het O_2 setpoint in de nitrificatie zone wordt bepaald door de ammoniumconcentratie in BT2, met een ondergrens van 1,5 mg/l en een bovengrens van 2 en 2,5 mg/l. Indien de ammoniumconcentratie in BT2 boven de 0,2 mg/l komt wordt de beluchting in de facultatieve zone ingeschakeld. Daarnaast worden deze ook aangestuurd door een feedforward regeling, boven een influentdebiet van 5000 m³/h wordt de beluchting aangezet.

In de beluchtingstanks (BT) 1 en 2 zijn elk 4 puntbeluchters aanwezig. Deze puntbeluchters worden op de ammonium- en/of zuurstofmeting geregeld. In geval van uitval worden de puntbeluchters geregeld op influent- of effluentdebiet.

Het retourslib wordt via 8 vijzels (FO gestuurd) naar de selector en denitrificatietank gebracht. Het debiet van de vijzels wordt geregeld via het influent of effluentdebiet.

De verdeling van het retourslib naar de selector en denitrificatietank wordt geregeld via 6 schuiven, waardoor 10 – 40% van het slib naar de selector worden gebracht. De verdeling is afhankelijk van de influentaanvoer en de slibvolumeindex van het slib. Bij een te hoge of te lage slibvolumeindex wordt de vlokbelasting in de selector aangepast door 1 of meer schuiven te openen of te sluiten. Het recirculatiedebiet tussen de nitrificatietank en denitrificatietank is tijdens DWA vastgesteld op 66%.

3.6.3 LUCHTBEHANDELING

In figuur 16 zijn de water,-slib en luchtlijn weergegeven. In de luchtlijn zijn ook de ventilatoren aangegeven. De specificaties van de ventilatoren zijn weergegeven in tabel 13. De lucht van het ontvangwerk, de harkroosters, de verdeelwerken 1 en 3, de voorbezinktanks, de selector, het retourslibgemaal en de slibsilo worden behandeld in de compostfilters. De behandelde lucht wordt daarna gebruikt in de beluchtingstanks als proceslucht. Na de beluchtingstanks wordt de lucht gedesinfecteerd door een ozonwasser.

De lucht van de nieuwe aëratietank (nitrificatie/denitrificatie) wordt apart afgezogen en vlak voor de ozonwassers in de leidingen vanaf de 2 beluchtingstanks gebracht.

TABEL 13 KENMERKEN VENTILATOREN OP RWZI KRALINGSEVEER

Ventilator	Plaats	Capaciteit (m³/h)	Vermogen (kW)	Continue ja/nee
V611 en V612	Tussen header en compostfilter	20.000	45	Ja en 1 reserve
V631 en V632	Tussen compostfilters en beluchtingstanks	30.000	15	Ja en 1 reserve
V514	Tussen ontvangwerk, verdeelwerk 3 en header	4.500	5,5	Ja
V613	Tussen selector, retourslibgemaal en header	3.000	1,5	Ja
V691, 692 en 693	Tussen beluchtingtanks en ozonwasser	30.000	45	2 continue 1 reserve
V641 en 642	Tussen nitrificatie/denitrificatie en ozonwasser	8.510	3	Ja, beide

De ontwerpcapaciteit van de luchtbehandeling is 60.000 m³/h.

3.6.4 METINGEN OP RWZI KRALINGSEVEER

In figuur 17 is een lay-outschets gegeven van de rwzi Kralingseveer met daarin de punten waar gemeten is. Kanaal 1 en 2 van de analyser zijn gebruikt voor de metingen in het totale luchtdebiet voor de ozonwassers. Het derde kanaal is gebruikt om de emissie van de gassen uit de nitrificatie/denitrificatietank te meten. Kanaal 4 is gebruikt om de achtergrondconcentratie te meten in de buitenlucht. Afbeeldingen van de vier kanalen zijn weergegeven in figuur 18.

De lucht van de onderdelen die door het compostfilter moet worden behandeld wordt in het ventilatorgebouw verzameld. Op deze manier was het mogelijk alle methaan-monsters op een locatie te nemen. De lucht boven de slibsilo wordt continue afgezogen, maar tijdens het verladen van slib wordt er een klep omgezet zodat de lucht die vrijkomt bij het verladen wordt afgezogen. Gedurende de meetperiode is van elk meetpunt twee maal een monster genomen voor de bepaling van de methaanconcentratie.





OVERZICHT VAN DE 4 KANALEN IN KRALINGSVEER. A: KANAAL 1: BT2 + AT. KANAAL 2 BT1 + AT. KANAAL 3: MENGSEL UIT AT. KANAAL 4: BUITENLUCHT (ACHTERGROND)



FIGUUR 18

4 RESULTATEN

4.1 RWZI PAPENDRECHT

4.1.1 FUNCTIONEREN ZUIVERING

De metingen op de rwzi Papendrecht zijn uitgevoerd in de periode van 19 – 26 oktober 2008. In deze periode bedroeg het slibgehalte in de 2 straten 3,3 en 2,9 g/l. De watertemperatuur bedroeg in deze periode 19,5 °C. Het influent en effluent werden in deze periode twee maal bemonsterd. De resultaten van deze analyses zijn samen met de cijfers uit 2007 samengevat in tabel 14. De resultaten van alle analyses zijn weergegeven in bijlage 3.

TABEL 14 INFLUENT-, EN EFFLUENTVRACHTEN VAN DE RWZI PAPENDRECHT MET BIJBEHOREND RENDEMENT

	Meetperiode 2008			2007			
	Eenheid	Influent	Effluent	Rendement (%)	Influent	Effluent	Rendement (%)
Debiet	m³/d	7.525	7.525	-	11.952	11.952	-
CZV	mg/l	558	25	96	338	32	91
BZV	mg/l	170	1,6	99	137	3	98
N-tot	mg/l	58	4	93	41 ¹⁾	3	93
P-tot	mg/l	9,6	0,7	93	6,1	0,7	89
CZV / N	-	9,6	-	-	8,2	-	
BZV / N	-	2,9	-	-	3,3	-	

1) als NKj

Uit tabel 14 kan worden opgemaakt dat de zuivering ten tijde van de metingen vergelijkbare vrachten ontving als in 2007. Op basis van deze vrachten en de gemeten slibconcentratie is de slibbelasting berekend. De BZV belasting bedroeg 0,038 kg BZV kg ds⁻¹·d⁻¹ en de N-belasting bedroeg 0,012 kg N·kg ds⁻¹·d⁻¹, waarbij beide boven de ontwerpbelasting liggen (zie tabel 5). De verwijderingsrendementen in de meetperiode waren vergelijkbaar of beter dan gerapporteerd in 2007. Op basis van bovenstaande kan worden aangenomen dat de situatie in de meetperiode representatief was voor de zuivering. De gemiddelde effluentconcentratie bedroeg 3,8 mg/l voor N-tot en voor totaal-P 0,7 mg/l, hiermee voldeed de rwzi in de meetperiode ruim aan de gestelde lozingseisen.

4.1.2 GASDEBIETEN

In tabel 15 is een overzicht gegeven van de opgegeven gasdebieten en de gemeten gasdebieten tijdens de meetperiode. Uit de uitgevoerde foutenanalyse (zie bijlage 4) is gebleken dat de meetfout in het gasdebiet van het lavafilter lager was dan de gevonden variatie tussen de meetwaarden. De emissie van CH_4 kan daarom alleen per dag worden gerapporteerd. De gevonden meetwaarde voor het lavafilter wijkt af van het ontwerpdebiet. Bij het ontwerpdebiet wordt gerekend met een maximale tegendruk (weerstand) van het systeem. Indien deze tegendruk in de praktijk lager ligt dan in het ontwerp kan het gevonden meetdebiet hoger

liggen dan in het ontwerp aangegeven. Dit verschijnsel verklaart de gevonden variatie in het gasdebiet en de afwijking van het ontwerpdebiet.

De ventilatoren P3910 en P3950 zuigen de lucht af van de beluchtingstanks, waarbij P3950 ook de lucht afzuigt van de anaërobe tank en de selector.

De gevonden meetfout is in beide gevallen groter dan de gevonden variatie in de meetwaarde. Voor de emissie van CH₄ en N₂O is daarom het gemiddelde gasdebiet genomen.

Voor de emissie van methaan vanuit de selector is gerekend met de debieten per dag omdat de variatie in het gevonden debiet groter is dan de meetfout. Dit geldt niet voor de anaërobe tank waar met een gemiddeld dagdebiet is gerekend. Het gasdebiet bij het verladen van het slib is alleen bepaald op het moment van verladen en dit is in de meetperiode eenmaal gebeurd. Het gemiddelde van twee metingen is weergegeven in tabel 15.

TABEL 15

OVERZICHT VAN DE ONTWERPGASDEBIETEN EN GEMETEN GASDEBIET TIJDENS DE MEETPERIODE IN PAPENDRECHT

Ventilator	Plaats	Capaciteit (m³/h)	Gemeten capaciteit (m³/h)
-	Tussen de twee lavafilters	750	1.250 ± 79
			1.373 ± 77
			1.418 ± 69
P3910	Voor compostfilters van beluchtingsstraat 1	7.000	9.679 ± 413
P3950	Voor compostfilters van	8.000	
	beluchtingsstraat 2, selector, anaërob	e Totaal	7.805 ± 275
	tank en slibretourgemaal	Selector	64 ± 15
			76 ± 15
			94 ± 15
		Anaërobe tank	161 ± 15
P8010	Slibontwateringsgebouw en zeefbandpers	1.500	3.109 ± 85

4.1.3 EMISSIE CH

Tijdens de meetperiode in Papendrecht zijn gasmonsters genomen bij de volgende locaties (aantal monsters):

٠	voor lavafilter na ontvangwerk	(3)
•	selector	(2)
•	anaërobe tank	(2)
•	slibverlading	(1)
•	aëratietanks	(1)

Emissiefactor

Slibverlading vindt in Papendrecht slechts 1x per week plaats. In de meetperiode heeft deze op dezelfde dag twee maal plaats gevonden en zijn ook twee maal monsters genomen. Het gemiddelde van beide metingen is meegenomen in de totale emissie van die dag, waarop ook alle andere procesonderdelen zijn bemonsterd. Op deze dag bedroeg de totale emissie 29,2 kg CH_4/d^3 . De rwzi ontving op deze dag 3.368 kg CZV/d, waarmee de emissiefactor op deze dag 0,0087 kg CH_4/kg CZV bedroeg. Deze emissiefactor ligt daarmee 20% boven de door de VROM gehanteerde emissiefactor van 0,007 kg CH_4/kg CZV voor zuiveringen zonder slibgisting.

Oorsprong emissie

Om inzicht te krijgen in de oorsprong van de emissie is de bijdrage van de diverse procesonderdelen weergegeven in figuur 19.



Uit figuur 19 blijkt dat de grootste bronnen van CH_4 emissie op de rwzi Papendrecht het ontvangwerk (45%) en de beluchtingstanks (32%) zijn.

4.1.4 EMISSIE N₂0

De emissie van N_2O is op de rwzi Papendrecht gemeten voor de twee compostfilters. De afgezogen lucht van beluchtingstank 1 wordt behandeld in een compostfilter. In het andere compostfilter wordt de lucht behandeld van beluchtingstank 2 en de anaërobe tank en de selector. Het derde kanaal van de N_2O analyzer was aangesloten op beide beluchtingstanks. De twee beluchtingstanks worden elk gescheiden afgezogen waardoor een verschil in druk kan zijn tussen beide tanks.

³ Deze emissie is berekend inclusief de emissie die is gemeten bij de slibverlading. Hierbij is aangenomen dat deze emissie plaatsvond gedurende 20 minuten. Indien er geen slibverlading had plaatsgevonden dan zou de emissie op die dag 28,9 kg CH₄/d bedragen.

Door deze mogelijke verschillen in druk kan niet worden aangenomen dat er een mengmonster is geanalyseerd het kan zijn dat de lucht uit één van beide tanks is ganalyseerd. Door deze onvolkomenheid zijn de analyseresultaten van kanaal 3 niet bruikbaar.

De bijdrage van de selector en anaërobe tank aan de N_2O emissie niet worden bepaald doordat de bijdrage van alleen beluchtingsciruit 2 niet is vastgesteld. Daarnaast zijn de monsters genomen voor de bepaling van de methaanemissie niet geanalyseerd op N_2O .

Emissiefactor

De totale N_2O emissie van de rwzi Papendrecht is weergegeven in figuur 20. Uit figuur 20 blijkt dat de emissie van N_2O sterk varieert gedurende vijf dagen.

De maximale emissie die werd gemeten bedroeg 21,1 g $\rm N_2O-N/h$ op 26 september. Op deze dag ontving de rwzi 484 kg N, wat betekent dat de maximale emissiefactor 0,10% bedroeg.



De gemiddelde emissie per dag is weergegeven in tabel 16, waaruit blijkt dat de emissie varieert tussen de 6,6 en 7,8 g N_2 O-N/h. De gemiddelde N_2 O bedroeg in deze periode 7,2 g N_2 O-N/h, wat met een gemiddelde stikstofvracht van 433 kg/d resulteert in een emissiefactor van 0,040%. In de meetperiode ontving de rwzi 50.074 i.e⁴. (150 g TZV). De N_2 O emissie per i.e. bedraagt dan 2,0 g N_2 O/jaar. De gevonden emissiefactor ligt onder de IPCC factor, en ver onder de door VROM gehanteerde factor van 1% en onder de factor die wordt gehanteerd voor het milieujaarverslag (0,07%).

4 In het vervolg van de rapportage zullen de emissiefactoren uitgedrukt per i.e. gebaseerd zijn op 150 g TZV.

TABEL 16 GEMIDDELDE N20 EMISSIE PER DAG OP DE RWZI PAPENDRECHT

	N ₂ 0 emissie	Nkj	Emissiefactor
	(gN ₂ 0-N/h)	(kg/d)	(%)
25-sep	7,07		
26-sep	7,69	484	0,038%
27-sep	7,78		
28-sep	6,62		
29-sep	6,73	382	0,042%

Oorsprong emissie

In figuur 21 is een voorbeeld gegeven van het verloop van de N_2O emissie zoals die op een dag werd waargenomen. Er kan worden waargenomen dat de hoogste N_2O pieken worden waargenomen rond de middag en aan het begin van de avond, overeenkomend met het aanvoerpatroon van afvalwater naar de zuivering. In figuur 21 is ook opgenomen de O_2 concentratie in de waterfase die een maat is voor het start-, en eindpunt van de beluchte fase. Uit figuur 21 blijkt dat gedurende de gehele beluchte fase de N_2O emissie hoog is en dat deze daalt wanneer de beluchting wordt uitgeschakeld.



Dat de emissie voornamelijk plaatsvond tijdens de beluchte fase werd ook bevestigd door de gevonden correlatie tussen de O_2 consumptie en de N_2O emissie welke is weergegeven in figuur 22. Uit deze figuur blijkt dat de emissie van N_2O lijkt toe te nemen met de O_2 consumptie tot 80 - 90 kg O_2/h .



CORRELATIE N₂O EMISSIE EN O₂ CONSUMPTIE



4.1.5 TOTALE EMISSIE BROEIKASGASSEN

Naast de emissie van N_2O en CH_4 draagt ook het elektriciteits-, en aardgasverbruik indirect bij aan de emissie van broeikasgassen via CO_2 . Het elektriciteits-, en aardgasverbruik is gebaseerd op het totale verbruik in 2008. De bijdrage van methaan is bepaald aan de hand van de metingen op één dag. De bijdrage van de emissie van N_2O is bepaald aan de hand van de gemiddelde emissie zoals deze is waargenomen voor de gehele meetperiode. De bijdrage van de diverse broeikasgassen op de rwzi Papendrecht zijn weergegeven in figuur 23. De totale CO_2 emissie voor de rwzi Papendrecht bedraagt 4.299 kg CO_2 per dag. Opvallend is dat de bijdrage van N_2O (2%) zeer beperkt is ten opzichte van methaan (17%), en dat de belangrijkste bijdrage wordt geleverd door het elektriciteitsverbruik (80%). Per ingekomen i.e. bedraagt de totale broeikasgasemissie 89,4 g CO_2 /i.e.





BROEIKASGASBIJDRAGE IN KG CO₂ EQUIVALENTEN PER DAG EN BIJDRAGE AAN TOTAAL IN % VOOR DE RWZI PAPENDRECHT. HET VERBRUIK AAN AARDGAS EN ELEKTRICITEIT IS GEBASEERD OP HET JAAR 2008

4.2 RWZI KORTENOORD

4.2.1 FUNCTIONEREN ZUIVERING

De emissie van broeikasgassen is op de rwzi Kortenoord gemeten in de periode van 29 mei t/m 4 juni 2009. In deze periode bedroeg het slibgehalte in de beluchtingstank 3,8 g/l en was de watertemperatuur 18,8°C. Het influent en effluent is in deze meetperiode dagelijks bemonsterd. De resultaten van deze analyses zijn samen met de resultaten uit de vergelijkbare periode in 2008 samengevat in tabel 17. De resultaten van alle analyses zijn weergegeven in bijlage 3.

		Meetperiode 2009			29/5 - 4/6 2008		
	Eenheid	Influent	Effluent	Rendement (%)	Influent	Effluent	Rendement %
Debiet	m³/d	14.651	14.651	-	16.053	16.053	-
CZV	mg/l	492	34	93	503	31	94
BZV	mg/l	145	1,5	99	184	1,8	99
N-tot	mg/l	58 ¹⁾	2,2	96	56 ¹⁾	2,6	95
P-tot	mg/l	11	0,5	95	10	0,3	97
CZV/N	-	8,5	-	-	9	-	-
BZV/N	-	2,5	-	-	3,3	-	-

TABEL 17 INFLUENT-, EN EFFLUENTVRACHTEN VAN DE RWZI KORTENOORD MET BIJBEHOREND RENDEMENT

1) Als NKj

Uit tabel 17 kan worden opgemaakt dat de zuivering ten tijde van de metingen vergelijkbare vrachten stikstof en totaal P ontving als in dezelfde periode in 2008, de vrachten aan CZV en BZV lagen echter lager. Op basis van deze vrachten en de gemeten slibconcentratie is de slibbelasting berekend. De BZV belasting bedroeg 0,024 kg BZV·kg ds⁻¹·d⁻¹ en de N-belasting bedroeg 0,010 kg N·kg ds⁻¹·d⁻¹. Beide liggen onder de ontwerpbelasting. De verwijdering van CZV, BZV, NKj en P-tot lagen in de meetperiode hoger dan in dezelfde periode in 2008. Op basis hiervan kan worden aangenomen dat de situatie in de meetperiode representatief was voor de zuivering. De gemiddelde effluentconcentratie bedroeg 2,2 mg/l voor N-tot en voor totaal-P 0,5 mg/l, hiermee voldeed de rwzi in de meetperiode ruim aan de gestelde lozingseisen.

4.2.2 GASDEBIETEN

In tabel 18 is een overzicht gegeven van de opgegeven gasdebieten en de gemeten gasdebieten tijdens de meetperiode. Uit de uitgevoerde foutenanalyse (bijlage 4) blijkt dat in alle gevallen de meetfout groter is dan de gevonden variatie in de gasdebieten. Dit betekent dat de emissie van CH₄ en N₂O is bepaald met het gemiddelde gasdebiet.

Uit tabel 18 blijkt dat de gemeten gasdebieten lager liggen dan de opgegeven capaciteiten van de ventilatoren. Ventilator P9104 en P9105 zijn opgesteld voor afzuigen van de in genoemde onderdelen. Echter op het moment van de meting was circuit 1 (beluchtingstank) niet in bedrijf. Deze beluchtingstank is al voor langere tijd uit bedrijf vandaar dat nog maar 1 ventilator noodzakelijk is voor het afzuigen van de overige onderdelen. Voor de ventilatoren achter circuit 2 geldt dat deze tijdens de meetperiode op half vermogen draaiden. De reden voor het lagere debiet bij de ventilator kan te maken hebben met een lagere tegendruk in de praktijk waar in het ontwerp rekening meegehouden is.

TABEL 18 OVERZICHT VAN DE ONTWERP GASDEBIETEN EN GEMETEN GASDEBIET TIJDENS DE MEETPERIODE IN KORTENOORD

Ventilator	Plaats	Capaciteit (m³/h)	Gemeten gasdebiet (m³/h)
P-9004 & P-9005	Tussen lavafilter en compostfilter	3.000 (P-9004)	4.417 ± 167
	harkrooster en zandvanger	2.000 (P-9005)	
P-9104 & P9105	Achter retourslibvijzels; Kettingrooster; selector; retourslibgemaal en circuit 1	7.750 (beide)	$\textbf{2.104} \pm \textbf{91}$
P-9224 & P-9225 & P-9226	Achter circuit 2	9.000 (alle)	5.213 ± 374
			4.377 ± 369 4.319 ± 366
P-9303	Achter lavafilter sliblijn	4.000	
		Totaal	1.277 ± 99
		Indikkers	467 ± 12
		Slibsilo	117 ± 10

4.2.3 EMISSIE CH4

Tijdens de meetperiode in Kortenoord zijn op de volgende locaties monsters genomen met tussen haakjes het aantal monsters:

- ontvangwerk/zandvanger (5);
- selector (5);
- beluchtingstank (elk kanaal voor N₂O meting 3x);
- slibindikkkers (3);
- slibsilo (3);
- totale slibgebouw (4).

Na het slibgebouw wordt de afgezogen lucht van de slibindikkers en slibsilo verzameld samen met de afgezogen lucht van de rest van het slibgebouw waaronder de centrifuges.

Emissiefactor

De bijdrage van de verschillende onderdelen aan de methaanemissie is weergegeven in figuur 24. De hoogste emissie werd waargenomen op de laatste dag van de meetperiode 4 juni, op deze dag bedroeg de emissie 45,8 kg CH_4/d . Op de andere twee dagen bedroeg deze 32,2 kg CH_4/d (29 mei) en 37,1 kg CH_4/d (2 juni). Op deze twee dagen bedroeg de CZV-vracht 7.017 en 7.037 kg CZV/d voor respectievelijk 29 mei en 2 juni, van 4 juni zijn geen influentgegevens beschikbaar. Op basis hiervan kan worden berekend dat de emissiefactor op 29 mei 0,0046 kg CH_4/kg CZV bedroeg en dat op 2 juni de emissiefactor 0,0053 kg CH_4/kg CZV bedroeg. Deze emissiefactor werd ook gevonden als gemiddelde voor de gehele meetweek, uitgaande van een gemiddelde CH_4 emissie van 38,4 kg CH_4/d en een gemiddelde CZV vracht van 7.232 kg/d. Daarmee ligt de gevonden emissiefactor onder de door de VROM gestelde factor van 0,007 kg CH_4/kg CZV voor zuiveringen zonder slibgisting.

Oorsprong emissie

De emissie van methaan vond voornamelijk plaats in het ontvangwerk, selector en beluchtingstank, de bijdrage vanuit de sliblijn was gering. De bijdrage vanuit het ontvangwerk varieerde van 34 – 57%, voor de selector varieerde de bijdrage tussen de 21 en 41%. De bijdrage vanuit de gehele sliblijn bleef beperkt tot maximaal 11%.



■ 29-mei ■ 2-jun □ 4-jun



4.2.4 EMISSIE N20

De emissie van N_2O vanuit de beluchtingstank is continu gemeten op drie kanalen elk in een been van het beluchtingscircuit. Vanaf 30 mei (omstreeks elf uur 's avond) tot 2 juni (omstreek 10 uur 's ochtends) is de slang van kanaal 2 geblokkeerd geweest. Hierdoor zijn er geen meetdata beschikbaar van deze periode. De emissie van N_2O -N op de drie kanalen voor de blokkade en de emissie van N_2O -N na de blokkade is weergegeven in figuur 25.



BOVEN: EMISSIE VAN N2O-N VAN DAG 0 – 2. ONDER: EMISSIE VAN N2O-N VAN DAG 4 – 7. BEIDE OP DE RWZI KORTENOORD. VOOR, MIDDEN EN ACHTER VERWIJZEN NAAR DE DRIE BENEN VAN DE CAROUSSEL ZOALS WEERGEGEVEN IN FIGUUR 13



• Voor N_2O • Midden N_2O • Achter N_2O

• Voor N_2O • Midden N_2O • Achter N_2O



42

Emissiefactor

Uit figuur 5 blijkt dat de emissie van N_2O een variatie vertoont gedurende de gehele week, maar de pieken in N_2O emissie worden elke dag rond hetzelfde tijdstip waargenomen rond de middag en aan het eind van de dag. De N_2O emissie per dag is weergegeven in tabel 19. Uit deze tabel blijkt dat er een grote variatie is gevonden in de emissie van N_2O wat ook leidt tot een grote variatie in de gevonden emissiefactoren.

	N ₂ 0 emissie	NKj	Emissiefactor
	(gN ₂ 0-N/h)	(kg/d)	%
29-mei	7,4	839	0,021
30-mei	28,9	965	0,072
2-jun	10,7	833	0,031
3-jun	24,4	927	0,063
4-jun	32,5	n.a.	n.a.

TABEL 19 GEMIDDELDE N20 EMISSIE PER DAG OP DE RWZI KORTENOORD

De emissiefactor voor N_2O kan op 4 juni niet worden berekend door het ontbreken van de influentgegevens. Daarom kan deze dag niet worden meegenomen in de berekening voor de gemiddelde N_2O emissie, welke 0,048% bedraagt. In de periode dat de emissiefactor van N_2O kon worden bepaald ontving de rwzi een vuilvracht van 90.110 i.e. Hiermee kan worden berekend dat de gemiddelde N_2O emissie per i.e. 2,7 g N_2O /jaar bedroeg. De waargenomen emissiefactor ligt onder de IPCC factor van 3,2 g N_2O /persoon, en ver onder de emissiefactor van 1% zoals gehanteerd door VROM. De gevonden emissiefactor ligt tevens net onder de emissiefactor gehanteerd voor het MJV van 0,07%.

Oorsprong emissie

De emissie van N_2O van de onderdelen anders dan de beluchtingstank is bepaald aan de hand van de gasanalyse van de gaszakken. De concentratie van N_2O in de gasmonsters van de overige onderdelen (anders dan beluchtingstank) lag onder de detectielimiet (< 5ppm) van de gaschromatograaf. Het is daardoor niet uit te sluiten dat de overige onderdelen ook een bijdrage hebben geleverd aan de N_2O emissie. Hierdoor is het mogelijk dat de bovengenoemde emissiefactor in de praktijk hoger ligt.

In figuur 26 is een voorbeeld gegeven van het verloop van de N_2O emissie zoals die op een dag werd waargenomen. In dezelfde figuur is ook opgenomen het totale opgenomen vermogen van alle puntbeluchters. Uit figuur 26 blijkt dat de emissie van N_2O samenvalt met het moment dat er veel belucht wordt wat het gevolg is van een verhoogde ammoniumconcentratie in het beluchtingscircuit. Deze verhoogde ammoniumconcentratie is het gevolg van de verhoogde aanvoer van afvalwater zoals die rond de middag en avond op een zuivering wordt waargenomen. Net als in Papendrecht werd een zelfde correlatie gevonden tussen de N_2O emissie en de O_2 consumptie.



N₂O EMISSIE EN OPGENOMEN VERMOGEN PUNTBELUCHTERS OP 29-5-2009



4.2.5 TOTALE EMISSIE BROEIKASGASSEN

Naast de emissie van N_2O en CH_4 draagt ook het elektriciteits,- en aardgasverbruik indirect bij aan de emissie van broeikasgassen via CO_2 . Het elektriciteits-, en aardgasverbruik is gebaseerd op het totale verbruik in 2008. De bijdrage van methaan is bepaald aan de hand van de metingen op drie dagen. De bijdrage van de emissie van N_2O is bepaald aan de hand van de gemiddelde emissie zoals deze is waargenomen voor de gehele meetperiode. De bijdrage van de diverse bronnen van CO_2 emissie op de rwzi Kortenoord zijn weergegeven in figuur 27.



Op basis van de resultaten van de meetperiode is de totale emissie van broeikasgassen gelijk aan 7.139 kg CO_2/d . In analogie met Papendrecht is de bijdrage van N_2O zeer gering (3%) ten opzichte van methaan (13%) en levert het elektriciteitsverbruik de grootste bijdrage (84%) aan de totale broeikasgasemissie. De totale broeikasgasemissie per ontvangen i.e. bedroeg 79,2 kg $CO_2/i.e.$ welke lager is dan in Papendrecht.

4.3 RWZI KRALINGSEVEER

TABEL 20

4.3.1 FUNCTIONEREN ZUIVERING

Op de rwzi Kralingseveer zijn 2 meetsessies uitgevoerd. De eerste periode is uitgevoerd van 14 – 21 oktober 2008, de tweede periode van 9 – 16 februari 2009.

De watertemperatuur bedroeg in de eerste periode $18,1^{\circ}$ C. In de tweede periode bedroeg de watertemperatuur $9,6^{\circ}$ C.

Het influent en effluent werden in beide meetsessies dagelijks bemonsterd evenals de afloop van de voorbezinktanks. De resultaten van deze analyses zijn samen met de cijfers uit 2008 samengevat in tabel 20 voor de meetperiode in oktober 2008. De resultaten van alle analyses zijn weergegeven in bijlage 3

			Meetperiode okt	ober 2008		Geheel 200	08
	Eenheid	Influent	Effluent	Rendement (%)	Influent	Effluent	Rendement %
Debiet	m³/d	81.443	81.443	-	91.178	91.178	
CZV	mg/l	261	33	87	255	35	86
BZV	mg/l	84	5	94	81	4,5	94
N-tot	mg/l	391)	8,3	79	331)	8,4	75
P-tot	mg/l	6,0	1,4	77	5,0	1,3	74
CZV/N	-	6,7			7,7		
BZV/N	-	2,2			2,5		
		Influent	Afloop VBT	Rendement (%)			
CZV	mg/l	261	234	10			
BZV	mg/l	84	71	15			
N-tot	mg/l	39 ¹⁾	42 ¹⁾				
P-tot	mg/l	6,0	7,9				
CZV/N	-	6,7	5,6				
BZV/N	-	2,2	1,7				

INFLUENT EN EFFLUENTVRACHTEN VAN DE RWZI KRALINGSEVEER (OKTOBER 2008) MET BIJBEHOREND RENDEMENT

1) Als NKj

In oktober 2008 ontving de rwzi Kralingsveer in vergelijking met heel 2008 minder vrachten aan CZV en BZV, maar de vrachten NKj en P-tot waren in vergelijking met heel 2008 hoger. Dit resulteert in een lagere CZV/N verhouding in het influent. Deze CZV/N verhouding verslechtert na de voorbezinktank waarin CZV en BZV worden verwijderd en de stikstof,- en P-tot vrachten door de terugvoer van het rejectiewater van de centrifuges worden verhoogd. De BZV belasting bedroeg in de meetperiode 0,033 kg BZV·kg ds⁻¹·d⁻¹, voor stikstof bedroeg deze 0,020 kg N·kg ds⁻¹·d⁻¹, welke beide lager liggen dan de ontwerpbelasting (zie tabel 11). De verwijderingsrendementen in de meetperiode waren met uitzondering van P-totaal vergelijkbaar met de rest van 2008. Op basis hiervan kan worden aangenomen dat de situatie in de meetperiode in oktober representatief was voor de zuivering. De gemiddelde effluentconcentratie bedroeg 8,3 mg/l voor N totaal en voor totaal-P 1,4 mg/l, hiermee voldeed de rwzi in de meetperiode aan de gestelde lozingseisen.

Het slibgehalte is in de meetperiode in oktober tweemaal bepaald. Op basis hiervan kon voor deze dagen de slibbelasting worden bepaald. Het gemeten slibgehalte en de berekende slibbelasting is weergegeven in tabel 21.

TABEL 21 SLIBGEHALTE IN BT1 EN BT2 EN SLIBBELASTING RWZI KRALINGSEVEER (OKTOBER)

						_
Datum	BT1	BT2	Gemiddelde	Slibbelasting	Slibbelasting	
	(g/l)	(g/l)	(g/l)	kg BZV·kg ds ⁻¹ ·d ⁻¹	kg N·kg ds ⁻¹ .d ⁻¹	
14-10-2008	4,7	4,5	4,6	0,026	0,020	
16-10-2008	5,2	4,4	4,8	0,031	0,019	

Op beide dagen ligt zowel de slibbelasting voor BZV als N beneden de ontwerpbelasting.

Voor de meetperiode in februari 2009 zijn de analyseresultaten weergegeven in tabel 22. In deze tabel zijn de resultaten van februari 2009 vergeleken met de resultaten uit 2008 in dezelfde periode. De resultaten van alle analyses zijn weergegeven in bijlage 3

	THE LIENT ON FEEL JENTYDACUTEN VAN DE DWITT VDALTNOCEVER	D (FEDDUADE 2000) MET DEIDEUODEND DENDEMENT
IABEL 22	INFLUENT-, EN EFFLUENTVRACHTEN VAN DE RWZI KRALINGSEVEE	K (FEBRUARI 2009) MET BIJBEHOREND RENDEMENT

		Meetperiode februari 2008			9/2 - 16/2 - 2008		
	Eenheid	Influent	Effluent	Rendement (%)	Influent	Effluent	Rendement %
Debiet	m³/d	123.704	123.704		75.715	75.715	
CZV	mg/l	249	40	84	315	36	89
BZV	mg/l	87	7	92	115	3	97
N-tot	mg/l	241)	10,4	57	43 ¹⁾	8,7	80
P-tot	mg/l	4,8	2,1	56	6,0	1,1	82
CZV/N	-	10,4			7,3		
BZV/N	-	3,6			2,7		
		Influent	Afloop VBT	Rendement (%)			
CZV	mg/l	249	259				
BZV	mg/l	87	74	15			
N-tot	mg/l	241)	27 ¹⁾				
P-tot	mg/l	4,8	6,4				
CZV/N	-	10,4	9,6				
BZV/N	-	3,6	2,7				

1) Als NKj

In de meetperiode in februari 2009 ontving de rwzi Kralingseveer veel hogere vrachten aan BZV en CZV dan in de vergelijkbare periode in 2008. Dit werd veroorzaakt door een stroomstoring bij de rioolgemalen de dag voor de start van de metingen in combinatie met hevige regenval (16 mm op 1 dag).

Daarentegen lag de stikstofvracht in februari lager dan in de zelfde periode vorig jaar. Dit resulteert in een hogere CZV/N verhouding in het afvalwater. Dit wordt ook veroorzaakt door het lagere verwijderingsrendement van CZV in de voorbezinktank door de hogere aanvoer. De verwijderingsrendementen in de meetperiode lagen in vergelijking met dezelfde periode in 2008 voor alle componenten lager. Dit kan worden toegeschreven aan de hogere vrachten die de zuivering in de meetperiode ontving. Daarnaast was de gemiddelde watertemperatuur in de meetperiode (9,6 °C) lager dan in dezelfde periode vorig jaar (12,7 °C).

Het slibgehalte is in de meetperiode in februari tweemaal bepaald. Op basis hiervan kon voor deze dagen de slibbelasting worden bepaald. Het gemeten slibgehalte en de berekende slibbelasting is weergegeven in tabel 23. Uit tabel 23 blijkt dat aan het begin van de meetperiode de slibbelasting ver boven de ontwerpbelasting ligt als gevolg van een zeer hoge aanvoer en een laag slibgehalte in het systeem.

Gedurende de meetperiode loopt het slibgehalte weer op en ontvangt de rwzi zijn normale DWA aanvoer, wat resulteert in belastingen onder de ontwerpbelasting.

Datum	BT1	BT2	Gemiddelde	Slibbelasting	Slibbelasting
	(g/l)	(g/l)	(g/l)	kg BZV·kg ds ⁻¹ ·d ⁻¹	kg N·kg ds ⁻¹ ·d ⁻¹
10 - 2 - 2009	2,5	2,6	2,6	0,10	0,053
12 - 2 - 2009	4,1	4,1	4,1	0,038	0,019

TABEL 23 SLIBGEHALTE IN BT1 EN BT2 EN SLIBBELASTING RWZI KRALINGSEVEER (FEBRUARI)

Ten opzichte van de meetperiode in oktober ontving de rwzi Kralingseveer gemiddeld 82.008 m³/d, in februari bedroeg deze 123.704 m³/d. Een gevolg van deze verhoogde aanvoer was dat de rwzi in februari veel hogere BZV en CZV vrachten ontving. Door de hogere vrachten lag de slibbelasting voor BZV en N in februari hoger dan in oktober. De gemiddelde temperatuur in oktober bedroeg 18,1°C, terwijl deze in februari slechts 9,6°C bedroeg. Hieruit blijkt dat er grote verschillen bestonden in procesomstandig-heden tussen oktober en februari. Het gevolg hiervan is tevens terug te zien in de effluentwaarden die in februari werden gevonden. Deze bedroegen voor N-totaal 10,4 mg/l en 2,1 mg/l voor totaal-P en lagen daarmee hoger dan in oktober.

4.3.2 GASDEBIETEN

In tabel 24 is een overzicht gegeven van de opgegeven gasdebieten en de gemeten gasdebieten tijdens de meetperiode in oktober en februari. Uit de uitgevoerde foutenanalyse (zie bijlage 4) blijkt dat in de meetperiode in oktober de variatie in het gasdebiet kleiner was dan de meetfout. Voor de emissie van methaan en N2O is gerekend met de in tabel 24 weergegeven gemiddelde gasdebieten. Voor de meetperiode in februari geldt dat voor de slibsilo en verdeelwerk 2 (VDW2) de variatie in de gasdebieten groter was dan de berekende fout. Voor de emissie van methaan gerekend met de gemeten debieten per dag. Voor de overige onderdelen geldt dat de waargenomen variatie in gasdebiet kleiner was dan de meetfout. Voor deze onderdelen is voor de emissie van N₂O en CH₄ gerekend met de gemiddelde gasdebieten.

KR	ALINGSEVEER			
Ventilator	Plaats	Capaciteit	Gemeten capaciteit	Gemeten capaciteit
		(m³/h)	oktober (m³/h)	februari (m³/h)
V611 en V612	Tussen header en compostfilter	20.000	VDW2: 2.000 ± 175	VDW2:
			Ontvangwerk: 2.672 \pm 249	1.425 ± 145
			VBT's: 8.978 ± 672	1.696 ± 159
V631 en V632	Tussen compostfilters en beluchtingstanks	30.000	Indikkers: 3.893 \pm 286	Ontvangwerk: 2.780 \pm 255
			Slibsilo 2.122 \pm 104	VBT's: 8.983 ± 785
				Indikkers: 3.464 ± 256
				Slibsilo
				$\textbf{2.112} \pm \textbf{103}$
				$\textbf{2.252} \pm \textbf{108}$
				$\textbf{2.328} \pm \textbf{110}$
V514	Tussen ontvangwerk,	4.500	2.672 ± 249	2.780 ± 255
	verdeelwerk 3 en header			
V613	Tussen selector ,	3.000	3.099 ± 241	3.112 ± 243
	retourslibgemaal en header			3.112 ± 243
				2.895 ± 229
V691, 692 en 693	Tussen beluchtingtanks en	2x 30.000	23.092 ± 1.219 (BT2)	23.106 ± 1.219 (BT2)
	ozonwasser		22.296 ± 1.181 (BT1)	23.134 ± 1.219(BT1)
V641 en 642	Tussen nitrificatie/	8.510	4.593 ± 386	4.195 ± 322

TABEL 24 OVERZICHT VAN DE ONTWERP GASDEBIETEN EN GEMETEN GASDEBIET TIJDENS DE MEETPERIODE IN OKTOBER EN FEBRUARI OP DE RWZI KRALINGSEVEER

4.3.3 EMISSIE CH₄

Tijdens de meetperiode in oktober en februari zijn op Kralingseveer op de volgende locaties monsters genomen:

 5.121 ± 418

 4.226 ± 321

- ontvangwerk;
- voorbezinktank;
- selector;
- verdeelwerk 2 (VDW2);
- indikkers en slibbuffers;

denitrificatie en ozonwasser

- slibsilo;
- aëratietank (AT);
- beluchtingstank 1 (BT1);
- beluchtingstank 2 (BT1).

In de meetperiode in oktober zijn alle meetpunten tweemaal bemonsterd. In de periode in februari zijn de meeste onderdelen driemaal bemonsterd, met uitzondering van VDW2 en de AT die elk tweemaal zijn bemonsterd. In beide meetperiodes zijn geen monsters genomen van de afgezogen lucht van het dienstgebouw waar de bandindikkers staan voor primair en secundaire slib en de centrifuges voor het uitgegiste slib. Eventuele methaanemissies vanuit het uitgegiste slib tijdens het centrifugeren kunnen hierdoor niet bepaald worden.

Emissiefactoren

De methaanemissie zoals deze is gemeten gedurende de meetperiodes in oktober en februari zijn samengevat in tabel 25.

TABEL 25 METHAANEMISSIE GEDURENDE DE TWEE MEETPERIODES OP DE RWZI KRALINGSEVEER

Periode	Datum	Emissie (kg CH ₄ /d)	Emissiefactor (kg CH ₄ /kg CZV)
Oktober	14-10-2008	293	0,012
	16-10-2008	318	0,012
Februari	10-2-2009	283	0,0072
	13-2-2009	192	0,010
	17-2-2009	205	0,006

Uit tabel 25 blijkt dat de emissie in oktober hoger lag dan in februari wat in oktober ook leidde tot een hogere emissiefactor. De emissiefactor in oktober ligt 29% hoger dan de door VROM opgestelde emissiefactor voor zuiveringen met slibgisting (0,0085 g $CH_4/gCZV$). De gemiddelde emissiefactor in februari (0,008 kg CH_4/kg CZV) en ligt 6% onder de VROM factor voor zuiveringen met slibgisting

Oorsprong emissie

De oorsprong van de methaanemissie is voor één dag uit elke meetperiode weergegeven in figuur 28. In deze figuur is tevens het totaal van de anaërobe delen weergegeven. De grootste bijdrage wordt in beide periodes geleverd door de voorbezinktank, de indikkers en slibbuffers en de slibsilo. In oktober bedraagt de bijdrage van de voorbezinktank 23%, voor de indikkers en slibbuffers 45% en voor de slibsilo 28%. In februari bedraagt de bijdrage van de voorbezinktank ook 23%, voor de indikkers en slibbuffers 23% en de slibsilo 48%. De afgezogen lucht van de anaërobe onderdelen wordt behandeld in een compostfilter, waarna het wordt hergebruikt voor de luchttoevoer van BT1 en BT2.

Wat opvalt, is dat het totaal van BT1 en 2 in beide periodes kleiner is dan de totale hoeveelheid gevormd methaan in de anaërobe onderdelen. Het verlies in oktober bedroeg 92 kg CH_4/d en in februari 59 kg CH_4/d .





4.3.4 EMISSIE N₂O MEETPERIODE OKTOBER 2008

De emissie van N_2O is op de rwzi Kralingseveer gemeten in de totale afgezogen lucht voor de ozonwasser. In deze totale afgezogen lucht is op twee kanalen gemeten. Het eerste kanaal betrof de afgezogen lucht van beluchtstank 2 plus de helft van de afgezogen lucht van de AT. Het tweede kanaal betrof de afgezogen lucht van beluchtingstank 1 plus de andere helft van de AT. De emissie van alleen de AT werd op het derde kanaal gemeten. De totale emissie als de som van de eerste twee kanalen en de emissie vanuit de AT is weergegeven in figuur 29.





Emissiefactoren

Uit deze figuur blijkt dat de N_2O emissie op de meeste dagen volledig uit de AT afkomstig is en dat deze een grote variatie vertoont door de week en per dag. De emissie van N_2O is per dag weergegeven in tabel 26.

N20 EMISSIE PER DAG OP DE RWZI KRALINGSEVEER (OKTOBER)

Datum	N2O-N emissie	NKj	Emissiefactor
	(g N ₂ 0-N/h)	(kg/d)	(%)
14-10-2008	346,3	2.348	0,35%
15-10-2008	504,1	2.141	0,57%
16-10-2008	293,9	2.169	0,33%
17-10-2008	255,9	2.642	0,23%
18-10-2008	445,6	2.239	0,48%
19-10-2008	436,4	2.339	0,45%
20-10-2008	516,5	2.295	0,54%

Uit deze tabel blijkt dat door de waargenomen variatie in N_2O emissie ook een grote variatie wordt waargenomen van de emissiefactor per dag. De gemiddelde emissiefactor die in deze week werd waargenomen bedroeg 0,42%. In de meetperiode ontving de rwzi een vuilvracht van gemiddeld 254.779 i.e. (150 gTZV). Dit betekent dat per i.e. 21,6 g N_2O per jaar wordt

geëmitteerd. Deze emissiefactor is bijna 8 maal groter dan de door de IPCC gestelde factor. De emissiefactor uitgedrukt als percentage van de stikstofvracht ligt in deze meetperiode onder de door VROM gestelde factor van 1%, maar ligt boven de emissiefactor zoals gehanteerd voor een milieujaarverslag (0,07%).

Oorsprong emissie

In figuur 30 is een voorbeeld gegeven van het verloop van de N_2O emissie zoals die op een dag werd waargenomen samen met het influentdebiet. Uit figuur 30 blijkt dat de emissie van N_2O samenvalt met het influentdebiet en daarmee met de aanvoer van stikstof. Verder kon op basis van de analyse van de metingen geen directe correlatie worden gevonden tussen een procesparameter en de N_2O emissie.



N20 EMISSIE EN INFLUENTDEBIET OP 18 OKTOBER IN DE AT OP RWZI KRALINGSEVEER



4.3.5 EMISSIE N₂O MEETPERIODE FEBRUARI 2009

Tijdens de meetperiode in februari is naast de N₂O emissie uit de AT en beluchtingstanks ook de N₂O emissie bepaald uit de anaërobe onderdelen. Vanuit de selector werd een gemiddelde emissie van 180 g N₂O-N/h gemeten, voor het ontvangwerk werd een emissie van 174 g N₂O-N/h gemeten. Met betrekking tot de andere onderdelen te weten de slibsilo, de slibindikkers,en buffers en de voorbezinktank lag de N₂O concentratie beneden de detectielimiet (<5 of 10 ppm) van de gaschromatograaf (GC) waardoor geen betrouwbare emissiegetallen kunnen worden gegeven. Uitgaande van N₂O concentraties gelijk aan de detectielimiet kan de emissie vanuit genoemde onderdelen 114,3 g N₂O-N/h bedragen.

De totale emissie van N_2O weergegeven als de som van de eerste twee kanalen (beluchtingstanks 1 en 2) en de emissie vanuit de AT is weergegeven in figuur 31.

Uit deze figuur kan worden waargenomen dat de emissie van N_2O in februari veel hoger lag dan in oktober. Verder valt op dat ten opzichte van oktober de emissie nu voornamelijk uit BT1 en BT2 komt.

TOTALE EMISSIE VAN N20-N EN DE EMISSIE VANUIT DE AT ALS FUNCTIE VAN DE TIJD GEMETEN OP DE RWZI KRALINGSEVEER (FEBRUARI 2009)



• Totaal • AT

Emissiefactor

N20 EMISSIE PER DAG OP DE RWZI KRALINGSEVEER (FEBRUARI)

De emissie van N_2O is per dag weergegeven in tabel 27. Uit deze tabel blijkt dat de waargenomen emissie in N_2O resulteert in een grote variatie in emissiefactoren die per dag worden gevonden.

Datum	N ₂ 0-N emissie	NKj	Emissiefactor
	(gN ₂ 0-N/h)	(kg/d)	(%)
11-feb	7.900	5.251	3,6
12-feb	13.094	5.968	5,3
13-feb	11.464	2.998	9,2
14-feb	9.733	2.524	9,3
15-feb	4.528	2.359	4,6
16-feb	8.172	2.331	8,4

TABEL 27

FIGUUR 31

De gemiddelde emissiefactor die werd waargenomen in de meetperiode in februari bedroeg 6,1%, wat bijna een factor 15 hoger is dan werd waargenomen in oktober. In februari ontving de rwzi Kralingseveer een vuilvracht van 360.882 i.e. (150 gTZV), dit betekent dat per i.e. 222 g N₂O werd geëmitteerd.

Beide factoren zijn vele malen hoger dan de gestelde IPCC factor en overschrijden ook de emissiefactor zoals door VROM wordt gehanteerd en zoals gehanteerd voor het MJV (0,07%).

Oorsprong emissies

Uit de analyse van de procesparameters en de N_2O is gebleken dat de N_2O emissie in de AT correleerde met de nitraatconcentratie in BT2 zoals kan worden waargenomen in figuur 32. Hieruit blijkt dat wanneer er een toename van nitraat plaats vindt er een hogere emissie van N_2O wordt gevonden. Verder werden er in de andere beluchtingstanks geen directe correlatie gevonden tussen een procesparameter en de N_2O emissie. FIGUUR 32



CORRELATIE TUSSEN DE N,0-N EMISSIE EN DE NITRAATCONCENTRATIE IN DE AT OP DE RWZI KRALINGSEVEER (MEETPERIODE: FEBRUARI 2009)

4.3.6 TOTALE EMISSIE BROEIKASGASSEN

Naast de emissie van N_2O en CH_4 draagt ook het elektriciteits,- en aardgasverbruik indirect bij aan de emissie van broeikasgassen via CO_2 . Het elektriciteits-, en aardgasverbruik is gebaseerd op het totale verbruik in 2008. De bijdrage van methaan is bepaald aan de hand van de metingen op twee (oktober) of drie (februari) dagen. De bijdrage van de emissie van N_2O is bepaald aan de hand van de gemiddelde emissie zoals deze is waargenomen voor de gehele meetperiode in oktober of februari.

Oktober

De bijdrage van de diverse bronnen van CO_2 emissie tijdens de meetperiode in oktober op de rwzi Kralingseveer zijn weergegeven in figuur 33. De totale broeikasbijdrage bedroeg in oktober voor de rwzi Kralingseveer 21.061 kg CO_2 equivalenten per dag.

Meer dan de helft hiervan (57%) wordt bijgedragen door de directe emissie van CH_4 en N_2O , waarbij CH_4 36% bijdraagt en N_2O 21%.
De bijdrage van elektriciteit bedraagt 41%, de bijdrage van aardgas is slechts 1%. In oktober ontving de rwzi 254.779 i.e., dit betekent dat per i.e. 82,7 g CO_2 werd uitgestoten.



Februari

Ten opzichte van de meetperiode in oktober bedroeg de emissie van broeikasgassen in februari 118.929 kg CO_2 equivalenten per dag. Dit is meer dan vijf maal zo hoog als de emissie in oktober en wordt voornamelijk veroorzaakt door de hoge N_2O emissie in februari zoals is te zien in figuur 34. In februari draagt de emissie van N_2O voor 88% bij aan de totale broeikasgasemissie, het elektriciteitsverbruik draagt nog maar 7% bij en de emissie van methaan draagt slechts 5% bij. In februari ontving de rwzi 360.882 i.e., dit betekent dat per i.e. 325 g CO_2 werd uitgestoten.



5DISCUSSIE

5.1 CH₄ EMISSIE

5.1.1 EMISSIEFACTOR

De emissiefactoren zoals deze zijn berekend aan de hand van de metingen op de rwzi's Papendrecht, Kortenoord en Kralingseveer zijn samengevat in tabel 28.

Rwzi	Emissiefactor	Afwijking t.o.v VROM	Emissiefactor
	(kg $CH_4/kg CZV$)		(g CH ₄ /i.e (150 g TZV)
Papendrecht	0,0087	1,2x hoger	0,58
Kortenoord	0,0053	1,3x lager	0,42
Kralingseveer oktober	0,012	1,4x hoger	1,2
Kralingseveer februari	0,008	1,1x lager	0,63
VROM factor met gisting	0,0085	-	-
VROM factor zonder gisting	0,007	-	-

TABEL 28 OVERZICHT VAN DE EMISSIEFACTOREN VOOR CH4 ZOALS WAARGENOMEN OP DE DIVERSE RWZI'S

Uit tabel 28 blijkt dat op de rwzi Papendrecht de emissiefactor voor methaan 19% hoger is dan de door de VROM gestelde factor van 0,007 kg CH./kg CZV voor zuiveringen zonder gisting. Op de rwzi Kortenoord - ook een zuivering zonder slibgisting - werd een emissiefactor gemeten die bijna 30% afweek van de VROM factor. Ten opzichte van de zuiveringen Papendrecht en Kortenoord werd op de rwzi Kralingseveer in oktober een hogere emissiefactor gevonden dan op Papendrecht en Kortenoord. Dit kan worden verklaard door de aanwezigheid van de slibgisting in Kralingseveer. De gevonden emissiefactor in oktober wijkt bijna 30% af van de door de VROM gestelde factor voor zuiveringen met gisting. In februari bedraagt deze afwijking nog maar 6% en is deze lager dan de VROM factor. Een verklaring voor dit verschil kan worden gevonden in het temperatuursverschil. In februari bedroeg de gemiddelde watertemperatuur minder dan 10 °C, terwijl deze in oktober bijna 19 °C bedroeg. Bij hogere temperaturen kan er meer CH, gevormd worden. Daarnaast zal bij hogere temperaturen ook minder CH, oplossen, waardoor er meer geëmitteerd wordt. Dat de temperatuur een effect heeft op de emissie van methaan blijkt ook uit de emissie die is gemeten tijdens het verladen van het slib in beide periodes. In oktober kwam gemiddeld 122 kg CH /d vrij bij het verladen van het slib op Kralingseveer, in februari bedroeg dit slechts 27 kg CH₄/d. Door de hogere oplosbaarheid van methaan bij lagere temperaturen kan er via het slib en effluent⁵ meer methaan worden afgevoerd wat leidt tot een lagere emissiefactor op de zuivering.

In dit onderzoek werd de emissiefactor bepaald aan de hand van een beperkt aantal metingen in een korte periode. Dit zal voor een deel de afwijking met de VROM factor verklaren.

⁵ Bij een temperatuur van 10 °C bedraagt de oplosbaarheid van methaan 30 mg/l. In februari bedroeg het gemiddelde debiet 5.154 m³/h. Dit betekent dat er maximaal 156 kg CH_4 /h via het effluent kan worden afgevoerd. Deze hoeveelheid is groter dan de productie in oktober (13 kg CH_4 /h).

Gezien het feit dat emissiefactoren boven en onder de emissiefactor van VROM worden gevonden lijkt de huidige emissiefactor vooralsnog toepasbaar om de emissie van methaan aan de hand van het CZV_{influent} in te schatten. Om een beter inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van de VROM emissiefactor wordt aanbevolen om de emissie van methaan voor een langere periode (half jaar) te meten om zo met name de invloed van temperatuur op de vorming en emissie van methaan te onderzoeken. Aanbevolen wordt om dit onderzoek uit te voeren op zuiveringen zonder en zuiveringen met gisting. Daarnaast zal onderzoek noodzakelijk zijn naar de vorming van methaan in de riolering, omdat in de VROM emissiefactor wordt uitgegaan van de omzetting van organisch materiaal in zowel de riolering als de waterlijn. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de huidige kennis om de emissie van H₂S uit de riolering te berekenen. Op dezelfde wijze kan een inschatting van de CH₄ vorming worden gemaakt waarbij wordt aanbevolen deze inschatting te toetsen in de praktijk.

5.1.2 OORSPRONG EMISSIE

Op de rwzi Papendrecht en Kortenoord waren met name het ontvangwerk en de beluchtingstank de belangrijkste bronnen van methaanemissie. Het methaan dat werd geëmitteerd uit het ontvangwerk is zeer waarschijnlijk afkomstig uit de riolering. Het afvalwater van beide rwzi's wordt via persleidingen aangevoerd. In deze persleidingen is door de anaërobe condities methaanvorming mogelijk. De mate daarvan zal afhangen van de temperatuur en de lengte van de leidingen. Gezien de korte verblijftijd van het afvalwater in het ontvangwerk kan vorming van methaan daar worden uitgesloten. In het vervolg van de zuivering werd emissie waargenomen vanuit de anaërobe tank, de selector en de beluchtingstanks. Vanwege de anaërobe condities in de anaërobe tank en de selector is methaanvorming mogelijk. Gezien de beperkte aanwezigheid van methanogenen in actief slib is de verwachting dat de mate van vorming gering zal zijn. In welke mate dit wel heeft plaatsgevonden is niet te bepalen, hiervoor had ook de methaanconcentratie in de waterfase moeten worden gemeten. Vanwege de anoxische en aërobe omstandigheden is methaanvorming in de beluchtingstank bijna uit te sluiten. De geëmitteerde hoeveelheid methaan moet eerder zijn gevormd. Dit kan in beperkte mate zijn gebeurd in de anaërobe tank en de selector, maar meer waarschijnlijk is dat dit methaan al is gevormd in de riolering en in de beluchtingstank wordt 'gestript'.

Uit de analyse van de bijdrage van de diverse onderdelen op de rwzi Kralingseveer blijkt dat het ontvangwerk, voorbezinktank, indikkers/slibbuffers en de slibsilo de grootste bijdrage leveren aan de emissie van methaan. De emissie van methaan uit het ontvangwerk en de voorbezinktank zal voor het grootste gedeelte zijn gevormd in de riolering. Een gedeelte zal ook afkomstig zijn van het rejectiewater⁶ van de centrifuges. Dit water wordt voor de voorbezinktank weer in de waterlijn teruggebracht. De emissie vanuit de indikkers, slibbuffers en slibsilo valt te verklaren uit het feit dat in de slibbuffers en slibsilo het uitgegiste slib wordt opgeslagen, waarbij tijdens opslag nog vorming en emissie van methaan kan plaatsvinden. Verder werd in beide periodes een verlies waargenomen tussen de geproduceerde hoeveelheid methaan uit de anaërobe onderdelen en de som van de methaanemissie vanuit BT 1 en 2.

⁶ Bij een temperatuur van 30 °C is de oplosbaarheid van methaan ongeveer 29,2 ml per liter. Dit komt overeen met 19,4 g CH₄ per m³ water. Uitgaande van een gemiddelde centraatproductie van 510 m³/d wordt er met het rejectiewater 9,9 kg CH₄ d teruggevoerd naar de waterlijn.

Dit verschil is zeer waarschijnlijk te verklaren uit het feit dat een deel van de gevormde methaan uit de anaërobe onderdelen wordt omgezet in het compostfilter en in de beide beluchtingstanks (waarin deze lucht wordt hergebruikt). Uit de analyse van de data blijkt dat zowel in oktober als in februari ruim de helft van de methaanemissie is gevormd in de aan de slibgisting gerelateerde onderdelen, ongeveer een kwart is afkomstig uit de riolering en het rejectiewater. Het overige deel wordt waarschijnlijk verwijderd in het compostfilter en de twee beluchtingstanks (BT1 en 2).

5.2 N_,O EMISSIE

5.2.1 EMISSIEFACTOREN

De emissiefactoren zoals deze zijn berekend aan de hand van de metingen op de rwzi's Papendrecht, Kortenoord en Kralingseveer zijn samengevat in tabel 29.

 TABEL 29
 OVERZICHT VAN DE EMISSIEFACTOREN VOOR N20 ZOALS WAARGENOMEN DOOR ON-LINE METING OP DE DIVERSE RWZI'S GEDURENDE EEN

 MEETPERIODE VAN 5 DAGEN
 MEETPERIODE VAN 5 DAGEN

rwzi	Emissiefactor	Emissiefactor	Afwijking t.o.v. IPCC	Afwijking t.o.v	Afwijking t.o.v. MJV
	(%)	(gN ₂ 0 · i.e. ⁻¹ · jaar ⁻¹)	(3,2)	VROM (1%)	(0,07%)
Papendrecht	0,040	2,0	1,6x lager	25x lager	1,8x lager
Kortenoord	0,048	2,7	1,2x lager	21x lager	1,5x lager
Kralingseveer oktober	0,42	22	6,8x hoger	2,4x lager	6x hoger
Kralingseveer februari	6,1	222	69x hoger	6,1x hoger	87x hoger
IPCC factor	0,035	3,2			
VROM	1	-			
MJV	0,07	-			

Uit tabel 29 blijkt dat er een grote variatie bestaat in emissiefactoren tussen verschillende zuiveringen en tussen dezelfde zuivering in verschillende seizoenen. Tijdens de metingen op de zuiveringen werd ook gedurende de dag een grote variatie gevonden in emissiefactoren. Door de grote variatie tussen zuiveringen en door de grote variatie in de tijd is het niet mogelijk om een algemene emissiefactor op te stellen om de emissie van N₂O vanuit een specifieke zuivering in te schatten. De emissiefactoren zoals deze werden gevonden op de laagbelaste (stikstofbelasting) systemen in Papendrecht en Kortenoord komen overeen met de voor het MJV gehanteerde factor die voor een deel gebaseerd is op metingen aan laagebelaste (stikstof) systemen. In het geval van een hoger belast (stikstof) systeem (Kralingseveer) werd een aanzienlijk hogere emissiefactor gevonden. In een verdere studie zal een inventarisatie moeten worden gemaakt van zuiveringen die vergelijkbaar zijn (in ieder geval qua stikstofbelasting) met Kralingseveer om zo inzicht te krijgen in welke mate Kralingseveer representatief is voor andere rwz's in Nederland. Dit is relevant aangezien hogerbelaste zuiveringen een aanzienlijke bijdrage kunnen leveren aan de totale emissie vanuit waterzuiveringssector. Aangezien de meeste rwzi's in Nederland laagbelast zijn zal door het gebruik van de huidige emissiefactoren voor N₂O een overschatting worden gemaakt van de bijdrage aan de nationale emissie. De emissiefactoren die op de rwzi Papendrecht en Kortenoord werden waargenomen zijn vergelijkbaar.

Beide rwzi's hebben de dezelfde procesconfiguratie met een selector, anaërobe tank en beluchtingstank waarin gelijktijdig nitrificatie en denitrificatie plaats vindt en hebben een vergelijke stikstofbelasting (Papendrecht 0,012 kg N·kg ds⁻¹, Kortenoord 0,010 kg N·kg ds⁻¹). Verschil tussen beide zuiveringen is de wijze van fosfaatverwijdering. In Papendrecht is deze volledig biologisch terwijl deze in Kortenoord voor een deel ook chemisch is. Op basis van bovenstaande resultaten kan nog geen uitsluitsel worden gegeven over het effect van de wijze van fosfaatverwijdering op de emissie van N₂O.

Ten opzichte van Papendrecht en Kortenoord werd in Kralingseveer in oktober een bijna tien maal zo hoge emissiefactor waargenomen. Voor het verschil tussen de emissiefactor op Kralingseveer en Papendrecht en Kortenoord zijn meerdere verklaringen mogelijk. Een eerste belangrijk verschil tussen de zuiveringen in Papendrecht en Kortenoord en de zuivering op Kralingseveer is de aanwezigheid van een voorbezinktank op laatstgenoemde zuivering. Hierdoor ligt de CZV/N verhouding van het afvalwater in Kralingseveer (5,5) lager dan in Papendrecht (9,7) en Kortenoord (8,5). Mogelijk wordt door dit verschil in CZV/N verhouding een hogere emissiefactor gemeten in Kralingseveer. Uit eerder uitgevoerd onderzoek is gebleken dat door de verlaging van de CZV/N verhouding van 10,8 naar 5,3 de vorming sterk toenam (Temmink, 2008). Een tweede belangrijk verschil tussen Papendrecht en Kortenoord en Kralingseveer is de stikstofbelasting.



In Papendrecht en Kortenoord bedraagt de stikstofbelasting 0,010 kg N·kg ds¹·d¹, waar deze in Kralingseveer tweemaal groter is. Een mogelijk verband tussen de N₂O emissie en de stikstofbelasting werd gevonden in Kortenoord zoals is weergegeven in figuur 35. Hierbij dient te worden vermeld dat alleen in Kortenoord dit verband kon worden gevonden en dat deze relatie in Kralingseveer en Papendrecht niet werd gevonden.

Een laatste verschil tussen Papendrecht / Kortenoord en Kralingseveer is de procesconfiguratie. In Papendrecht en Kortenoord vindt de stikstofverwijdering plaats in een carrousel, terwijl in Kralingseveer de nitrificatie en denitrificatie in een propstroomreactor en carroussel plaats vindt. Gedurende een tweede meetperiode in februari op de rwzi Kralingseveer werd ten opzichte van de eerste periode in oktober een emissiefactor waargenomen die 10 - 15 maal hoger lag dan in oktober. De waargenomen emissiefactor overschreed zowel de IPCC factor als de door VROM gehanteerde emissiefactor en de voor het MIV gehanteerde factor in ruime mate. Het grote verschil tussen februari en oktober wordt toegeschreven aan een hoge stikstofbelasting door een verhoogde aanvoer in combinatie met een lage temperatuur. Dit leidde tot een ophoping van ammonium en nitriet (10 - 20 mg/l) als gevolg van een onvolledige nitrificatie. De ophoping van nitriet kan leiden tot vorming van N₂O zoals werd waargenomen door Burgess (Burgess, 2002) en Butler (Butler, 2009). In deze onderzoeken werd de vorming van N₂O gebruikt als alarmsignaal voor een falende nitrificatie door een piekbelasting van ammonium of een tekort aan zuurstof, waarbij naast N_aO ook nitriet werd gevormd. Een mogelijk bewijs dat de emissie van N_oO op Kralingseveer in februari het gevolg was van een ophoping van nitriet werd gevonden in de correlatie tussen de nitraatconcentratie en de N₂O emissie (zie figuur 32). Door een verhoogde beluchtingsintensiteit (als reactie op de hoge ammoniumconcentraties) werd het gevormde N₃O in hoge mate gestript. Door het samenvallen van een hoge aanvoer en een lage temperatuur kan het effect van alleen de temperatuur niet worden vastgesteld.

Het is onduidelijk wat de invloed is van de procesconfiguratie, de beluchtingsregeling, de wijze van fosfaatverwijdering en de CZV/N verhouding op de N_2O emissie. De temperatuur lijkt een effect te hebben op de mate van N_2O emissie zoals de resultaten in Kralingseveer in februari laten zien, maar gezien het feit dat deze lage temperatuur samenviel met een hoge aanvoer en dus stikstofbelasting kan het effect van alleen de temperatuur niet worden vastgesteld. Wel geven de resultaten een indicatie dat de stikstofbelasting een belangrijke parameter is voor de mate van N_2O emissie.

5.2.2 OORSPRONG EMISSIE

Doordat op de bemeten zuiveringen de emissie is bepaald in de totale afgezogen lucht van een tank waarin zowel nitrificatie als denitrificatie plaatsvindt, kan niet worden bepaald welk proces verantwoordelijk is geweest voor de vorming van N_2O . Proeven op laboratoriumschaal kunnen inzicht geven onder welke procescondities de nitrificatie en/of denitrificatie verantwoordelijk zijn voor de vorming van N_2O . Op deze manier zal een kwantitatieve relatie vastgelegd kunnen worden tussen een procesparameter en de emissie van N_2O die vervolgens kan worden gebruikt om de emissie van N_2O op een rwzi te bepalen.

5.3 TOTALE BROEIKASGASEMISSIE

Een samenvatting van de totale broeikasgasemissie voor de drie zuiveringen is weergegeven in tabel 30.

TABEL 30 UITSTOOT VAN DIRECTE EN INDIRECTE BROEIKASGASSEN UITGEDRUKT IN CO2 EQUIVALENTEN VOOR DE RWZI'S PAPENDRECHT, KORTENOORD EN KRALINGSEVEER

Parameter	Fenheid	Papendrecht	Kortenoord	Kralingseveer (okt)	Kralingseveer (feb)
Totaal	kg CO ₂ -eq/d)	4.299	7.139	21.061	117.414
Totaal	(g CO ₂ -eq/i.e)	86	79	83	325
Elektriciteit	(%)	80	82	41	7
Aardgas	(%)	0,7	2,2	1	0
N ₂ 0	(%)	1,9	2,8	21	88
CH4	(%)	17	13	36	5

De hoogste broeikasgasemissie werd waargenomen in Kralingseveer gedurende de meetperiode in februari. Deze hoge broeikasgasemissie laat zien hoe groot de impact is van één week op de totale broeikasgasemissie van een zuivering voor een heel jaar. De emissie van N_2O in februari stond gelijk aan 15 'gewone' weken zoals de week in oktober. In hoeverre de omstandigheden zoals in de meetperiode in februari vaker voorkomen en wat daarvan het effect is op de totale broeikasgasemissie is niet bepaald.

Op de rwzi Kralingseveer draagt de emissie van N_2O en CH_4 voor meer dan 50% bij aan de totale broeikasgasemissie. Op de rwzi's Papendrecht en Kortenoord is de bijdrage van de directe emissie van N_2O en CH_4 veel kleiner. De geringe bijdrage van CH_4 op deze zuiveringen is niet verrassend gezien het feit dat op deze zuiveringen geen gisting aanwezig is. Bij deze zuiveringen vormt de afgenomen hoeveelheid elektriciteit de grootste bijdrage aan de totale broeikasgasemissies. Doordat de zuiveringen met slibgisting een eigen elektriciteitsopwekking hebben is de bijdrage van het elektriciteitsverbruik aan de totale broeikasgasemissie hier lager dan op zuiveringen zonder gisting. Aan de andere kant is door de aanwezigheid van een gisting de bijdrage van methaan weer hoger dan bij zuiveringen zonder gisting.

5.4 MAATREGELEN BEPERKING EMISSIE BROEIKASGASSEN

Het effect van de op de zuiveringen aanwezige luchtbehandelingsinstallaties op de verwijdering van N₂O en CH₄ is op de rwzi Kralingseveer onderzocht. Op de rwzi Kralingseveer bleek dat een deel (~25%) van de geëmitteerde hoeveelheid methaan wordt omgezet in het compostfilter en in de beluchtingstanks. De ozonwasser (voor de desinfectie van de afgezogen lucht) heeft geen effect op de emissie van CH₄ en N₂O. Op de rwzi's Papendrecht en Kortenoord is geen onderzoek gedaan naar het effect van de luchtbehandelingstechniek op de emissie van N₂O of CH₄.

Een mogelijke maatregel om de emissie van methaan te reduceren is het behandelen van de afgezogen lucht in het biologische proces door de afgezogen lucht via de blowers in de aëratietank te injecteren. Op zuiveringen waar een WKK aanwezig is kan de afgezogen lucht dienen als verbrandingslucht.

Op basis van dit onderzoek kunnen er nog geen maatregelen worden opgesteld om de emissie van N_2O te reduceren. Hiervoor ontbreekt op dit moment onvoldoende inzicht in de vorming en emissie van N_2O .

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

Het doel van dit onderzoek was om inzicht te geven in de emissie van broeikasgassen van Nederlandse rwzi's. Om dit doel te bereiken is in 4 meetperiodes bij 3 zuiveringen de emissie van N_2O en CH_4 vastgesteld. Op basis van de resultaten van dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

EMISSIEFACTOREN

- de emissiefactor voor methaan van 0,085 kg CH₄/kg CZV zoals gehanteerd door VROM lijkt vooralsnog bruikbaar voor de inschatting van de methaanemissies van Nederlandse rwzi's met slibgisting. Bij zuiveringen zonder slibgisting kan een kental van 0,007 kg CH₄/kg CZV worden toegepast⁷;
- op basis van dit onderzoek is het plausibel dat de huidige emissiefactoren die voor N₂O worden gehanteerd (IPCC, VROM en MJV) de bijdrage van de meeste rwzi's overschatten. Echter, bij grotere hogere-belaste rwzi's en lagere temperatuur wordt de emissie waarschijnlijk onderschat;
- voor beleid op waterschapsniveau met betrekking tot de reductie van de emissie van broeikasgassen vanuit rwzi's dient eerst inzicht te worden verkregen in de bijdrage van de diverse broeikasgassen. Gezien de variatie in de emissie van N₂O tussen rwzi's (en in de tijd) kan hiervoor vooralsnog geen algemene emissiefactor worden opgesteld. Momenteel kan de N₂O emissie van een specifieke zuivering alleen worden vastgesteld door lange termijn monitoring.

BIJDRAGE VAN METHAAN

- op zuiveringen zonder slibgisting levert het ontvangstwerk de grootste bijdrage aan de emissie van methaan, daarmee vormt de riolering de grootste bron van methaanemissie.
 Op zuiveringen met gisting draagt ook de slibgisting en alle daaraan gerelateerde onderdelen significant bij aan de methaanemissie;
- bij een lagere temperatuur wordt er minder methaan geëmitteerd, waarbij wel moet worden aangetekend dat deze via het effluent en slib kan worden afgevoerd en op een andere locatie vrij kan komen.

BIJDRAGE VAN LACHGAS

- op basis van dit onderzoek lijkt de bijdrage van laagbelaste rwzi's aan de totale N₂O emissie gering, daarentegen lijkt de bijdrage vanuit hoger belaste rwzi's groter te zijn aan de totale N₂O emissie;
- uit dit onderzoek is verder geen aanvullend inzicht verkregen in de invloed van procesparameters zoals de wijze van fosfaatverwijdering, de CZV/N verhouding, de beluchtingsregeling en de temperatuur op de emissie van N₂O. Wel werd er een correlatie gevonden
- 7 Dit kengetal geeft de verwachtte emissie weer van methaan uit de waterlijn van een rwzi, waarbij rekening wordt gehouden met vorming in riolering en rwzi (zie Bijlage 2).

(Kralingseveer; februari) tussen de nitraatconcentratie en de mate van N_2O emissie, waarbij bij hogere nitraatconcentraties een hogere N_2O emissie werd gemeten. Dit duidt mogelijk op het feit dat nitrietophoping plaats vond die mogelijk de oorzaak was van de vorming van N_2O .

Verder werd gedurende de meetweek op Kortenoord een correlatie gevonden tussen de slibbelasting (N) en de mate van N_2O emissie, waarbij bij een hogere slibbelasting een hogere N_3O emissie werd gemeten.

TOTALE BROEIKASGASEMISSIE

De emissie van CH₄ en N₂O is samen met de totale broeikasgasemissie samengevat in tabel 31.

TABEL 31	OVERZICHT VAN DE TOTALE BROEIKASGASEMISSIE EN DE EMISSIE VAN CH4, N20 VOOR DE	RWZI'S PAPENDRECHT, KORTENOORD EN
	KRALINGSEVEER	

Parameter	Eenheid	Papendrecht	Kortenoord	Kralingseveer	Kralingseveer
		(september)	(mei/juni)	(oktober)	(februari)
CH ₄ emissie	(kg/d)	29,2	38,4	306	227
CH44 emissie	(g/ i.e.)	0,58	0,42	1,2	0,63
N ₂ 0-N emissie	(kg/d)	0,17	0,43	9,6	220
N ₂ 0 emissie	(g/ i.e.)	2,0	2,7	21,6	222
Totale emissie	(kg CO_2 -eq/d)	4.299	7.139	21.061	117.414
Totale emissie	(g CO ₂ -eq/ i.e)	86	79	83	325
Elektriciteit	(%) ¹⁾	80	82	41	7
	(g CO ₂ -eq/ i.e)	69	64	34	27,5
Aardgas	(%) ¹⁾	0,7	2,2	1	0
	(g CO ₂ -eq/ i.e)	0,62	1,8	1,1	0,9
N ₂ 0	(%) ¹⁾	1,9	2,8	21	88
CH4	(%) ¹⁾	17	13	36	5

1) % van totale broeikasgasemissie (kg CO₂-d)

Op basis van deze tabel kan het volgende worden geconcludeerd:

- de bijdrage van de N₂O emissie aan de totale broeikasgasemissie is op laagebelaste zuiveringen zoals Papendrecht en Kortenoord gering, maar bedraagt 21% 88% in het geval van een hoogbelaste zuivering zoals Kralingseveer;
- indien door een hoge aanvoer in combinatie met een lagere temperatuur de nitrificatie niet meer volledig verloopt en de emissie van N₂O toeneemt, kan de emissie van N₂O bijna geheel verantwoordelijk zijn voor de totale broeikasgasemissie (Kralingseveer; februari);
- op zuiveringen met een lage stikstofbelasting zoals Papendrecht en Kortenoord is het elektriciteitsverbruik de grootste bron van broeikasgasemissie;
- op zuiveringen met slibgisting levert het elektriciteitsverbruik een kleinere bijdrage aan de totale broeikasgasemissie dan zuiveringen zonder slibgisting door de eigen opwekking van elektriciteit;
- methaan geeft een aanzienlijke bijdrage aan de emissie van broeikasgassen, met name bij zuiveringen met slibgisting. Deze bijdrage is van dezelfde orde grootte als de vermindering van broeikasgasemissie ten gevolge van het gebruik van biogas voor elektriciteitsproductie;
- de bijdrage van het aardgasverbruik aan de totale emissie van broeikasgassen is in alle gevallen gering.

6.2 AANBEVELINGEN

Voor het inschatten van de totale broeikasgasemissie van een specifieke zuivering (dus niet op nationaal niveau voor alle zuiveringen) kan gebruik worden gemaakt van:

- 1 voor elektriciteit: het gemeten verbruik;
- 2 voor aardgas: het gemeten verbruik;
- 3 voor methaanemissie: (vooralsnog) de VROM factor, gedifferentieerd naar zuiveringen met en zonder gisting;
- 4 voor de N₂O-emissie kan geen gebruik worden gemaakt van de door de IPCC en VROM gehanteerde emissiefactoren, omdat de resultaten in dit onderzoek een te grote variatie in emissiefactoren laten zien. Verder onderzoek is noodzakelijk.

METHAAN

De emissiefactoren zoals deze door VROM worden gebruikt om de emissie van CH_4 vanuit rwzi in te schatten kunnen vooralsnog worden gehanteerd. Om in de toekomst richtlijnen op te stellen om de emissie van methaan te reduceren wordt aanbevolen om in een vervolgonderzoek aandacht te schenken aan:

- de oorsprong van methaanvorming in de riolering en op de rwzi;
- de effectiviteit van de huidige luchtbehandelingstechnieken om methaan te verwijderen;
- de capaciteit van het actiefslibsysteem om methaan te oxideren;
- de mate waarin methaan wordt gestript naar de lucht
- de mate waarin methaan via het effluent wordt afgevoerd.

LACHGAS

Uit het onderzoek is gebleken dat voor de emissie van N_2O vanuit een specifieke rwzi geen gebruik kan worden gemaakt van de bestaande emissiefactoren. De reden hiervoor is de gevonden variatie tussen de verschillende zuiveringen en op dezelfde zuivering gedurende een dag. Door de waargenomen variatie in de meetresultaten was het niet mogelijk om eenduidige verbanden tussen N_2O emissie en procescondities en configuraties aan te brengen. Om in de toekomst een inschatting te kunnen maken van de N_2O emissie vanuit een specifieke rwzi en om uiteindelijk richtlijnen te kunnen op stellen voor de reductie van N_2O emissie wordt aanbevolen om het in vervolgonderzoek aandacht te besteden aan:

- inzicht in een mogelijke relatie tussen een of meerdere procesparamters en de emissie van N₂O;
- inzicht in de variatie en de mate van N₂O emissie als gevolg van wisselende condities;
- inzicht in de oorsprong van de N₂O vorming.
- Inzicht in welke mate N₂O mogelijk ook via het effluent wordt afgevoerd.

Aanbevolen wordt, om gezien de variatie in de mate van N_2O vorming en emissie, vervolg metingen uit te voeren op volledig afgedekte zuiveringen.

7 REFERENTIES

BKH, 1994, Studie naar de vorming van N₂O in rioolwaterzuiveringsinstallaties; Literatuuronderzoek en oriënterende metingen, Delft.

Burgess, J.E., Colliver, B.B., Stuetz, R.M., Stephenson, T., 2002, Dinitrogen oxide production by a mixed culture of nitrifying bacteria during ammonia shock loading and aeration failure, Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology 29, p 309 – 313.

Butler, M.D., Wang, Y.Y., Cartmell, E., Stephenson, T., 2009, Nitrous oxide emissions for early warning of biological nitrification failuere in activated sludge, Water Research, 43, p. 1265 – 1272.

Colliver, B.B., Stephenson, T., 2000, Production of nitrogen oxide en dinitrogen oxide by autotrophic nitrifiers, Biotechnology Advances 18 (2000) p. 219 – 232.

Czepiel, P.M., Crill, P.M., Harriss, R.C., 1993, Methane emissions from municipal wastewater treatment processes, Environ.Sci.Technol. 27, p. 2472 – 2477.

Czepiel, P.M., Crill, P.M., Harriss, R.C., 1995, Nitrous Oxide emissions from municipal wastewatertreatment, Environmental Science Technology, 29, p. 2352 – 2356.

Frijns, J., Mulder, M., Roorda, J., 2008, Op weg naar een klimaatneutrale waterketen.

Gejlsbjerg, B., Frette, L., Westermann, P., 1998, Dynamics of N₂O production from activated sludge, Wat. Res., volume 32, issue no 7, p. 2113 – 2121.

Gray, N.D., Miskin, I.P., Kornilova, O., Curtis, T.P., Head, I.M., 2002, Occurrence and activity of *Archea* in aerated activated sludge wastewater treatment plants, Environmental Microbiology 4 (3), p.158 – 168.

Guisasola, A., Haas, de, D., Keller, J., Yuan, Z., 2008, Methane formation in sewer systems, Water Research (42) p 1421 – 1430

IPCC, 2006, 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., and Tanabe, K., (eds), pp 6.24 – 26.26, IGES, Japan.

IPCC (2007), Fourth Assessment Report (AR4), Climate Change 2007: Synthesis report.

Kampschreur, M.J., Star, W.R.L., Wielders, H.A., Mulder, J.W., Jetten, M.S.M., Loosdrecht, van, M.C.M., 2008, Dynamics of nitric oxide and nitrous oxide emission during full – scale reject water treatment

Kampschreur, M.J., Temmink, H., Kleerebezem, R., Jetten, M.S., van Loosdrecht, M.C., 2009, Nitrous oxide emission during wastewater treatment

Kampschreur, M.J., Poldermans, R., Kleerebezem, R., Star, W.R.L., Haarhuis, R., Abma, W.R., Jetten, M.S.M., Loosdrecht van, M.C.M., 2009, Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from a full-scale singlestage nitritation anammox reactor, 2nd IWA specialized conference on nutrient management in wastewater treatment processes, Krakow, Poland.

Kimochi, Y., Inamori, Y., Mizuochi, M., Xu, K-Q, Matsumura, M., 1998, Nitrogen, removal and N_20 emission in a full-scale domestic wastewater treatment plant with intermittent aeration, Journal of fermentation and bioengineering, 86 (2), p. 202 – 206.

Körner, R., B., Ottow, J.C.G., 1993, "Quantificierung der Lachgas (N_20) – Freisetzung aus Klaranlagen unterschiedlicher Verfahrensführung. Quantification of the release of laughing gas (N_20) from sewage treatment works with different process control systems, Korrespondenz Abwasser; 40 (4): 514, 516, 518, 520, 522, 524-525.

Krauth, KH., 1993, N_20 in Kläranlagen, N_20 in sewage treatment plants, Korrespondez Abwasser (40 (40)), 1777, 1778, 1781 - 1791

Lens, P.N., De Poorter, M.-P., Cronenberg, C.C., Verstraete, W.H., 1995, Sulfate reducing and methane producing bacteria in aerobic wastewater treatment systems, Water research (29-3) p. 871 – 880

Melse, 2003, Biologisch filter voor verwijdering van methaan uit lucht van stallen en mestopslagen, Wageningen Universiteit en Research centre, Agrotechnology and Food Innovations, rapportnummer 2003-16.

Otte, S., Grobben, N.G., Robertson, L.A., Jetten, M.S.M., Kuenen, J.G., 1996, Nitrous oxide production by *Alcaligenes faecalis* under transient and dynamic aerobic and anaerobic conditions, Applied and Environmental Microbiology, july, p. 2421 – 2426.

Otte, S., 2000, Nitrous oxide (N_20) production during conversion of inorganic nitrogen compounds in pure and mixed cultures, TU Delft.

RIVM, 1994, Nitrous oxide (N_20) , Emission inventory and options for control in The Netherlands. RIVM rapport 773001004.

Schulthess von, R., Wild, D., Gujer, W., 1994, Nitric and nitrous oxides from denitrifying activated sludge at low oxygen concentration, Water Science and Technology, volume 30 nummer 6, p 123 – 132.

Sommer, J. *et al.*, Quantification of emitted and retained N_2O in a municipal wastewater treatment plant with activated sludge and nitrifying – denitrifying units, Agribiological Research-Zeitschrift Fur Agrarbiologie Agrikulturchemie Okologie 51 (1), 59 – 73.

STOWA, 2004 - 09, Stankoverlast en bestrijding bij de verlading van ontwaterd slib.

STOWA, 2007 - W - 10 E-PRTR voor rwzi's.

Sümer, E. *et al.*, Influence of environmental conditions on the amount of N_2^0 released from activated sludge in a domestic wastewater treatment plant, Experientia Basel 51 (4), 419 – 422.

Thörn, M., Sorensson, 1996, Variation of nitrous oxide formation in the denitrification basin in a wastewater treatment plant with nitrogen removal, Water Research, 30 (6), 1543 – 1547.

Temmink, H., 2008, Achtergronden van N₂0 emmissie door rioolwaterzuiverings-installaties (rwzi's) in Nederland, Senternovem, project 0377-04-02-02-001

Testo, 2001, Metingen van het binnenklimaat in de praktijk.

VROM, 2008, Protocol 8136 Afvalwater, t.b.v. NIR 2008, uitgave maart 2008; 6B $\rm CH_4$ en $\rm N_2O$ uit afvalwater.

Wicht, H., Braunschweig, Beier, M., 1995, N_20 – Emissionen aus nitrifizierenden und denitrifizierenden kläranlagen, Abwasserreinigung, Korrespondenz Abwasser 404 – 415

BIJLAGE 1

AFKORTINGEN EN BEGRIPPEN

Anammox	Anaërobe ammoniumoxidatie
AOB	Ammonium oxiderende bacteriën
BABE	Bio-Augmentation Batch Enhanced
BBS	Beeldbedieningssysteem
BZV	Biologisch zuurstofverbruik
CANON	Completely Autotrophic Nitrogen removal Over Nitrite
CZV	Chemisch Zuurstof Verbruik
DWA	Droogweeraanvoer
GC	Gaschromatograaf
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MJV	Milieujaarverslag
NOB	Nitraat oxiderende bacteriën
RWA	Regenweeraanvoer
rwzi	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
SVI	Slibvolumeindex
Sharon	Single reactor system for High Ammonium Removal Over Nitrite
VROM	(ministerie van) Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu

BIJLAGE 2

ACHTERGROND CH_4 EMISSIEFACTOR

De emissiefactor voor de gehele rwzi is opgebouwd uit de emissie vanuit waterlijn en de emissie vanuit de slibgisting, die wordt berekend met de volgende formule:

$$CH_{4,rwzi} = CH_{4,waterlijn} + CH_{4,slibvergister}$$
(1)

Voor de emissie vanuit de waterlijn wordt de volgende formule gebruikt:

$$CH_{4,waterlijn} = EF_{waterlijn} \cdot CZV_{influent}$$
(2)

waarin EF_{waterlijn} de emissiefactor is en CZV_{influent} de kg CZV die per jaar de zuivering binnen komen. De emissiefactor voor de waterlijn wordt als volgt vastgesteld:

$$EF_{waterlijn} = B_{o,rwzi} \cdot \eta_{DOC} \cdot MCF_{rwzi}$$
(3)

waarin:

B _{o,rwzi}	: methaanvorming bij anaërobe omzetting DOC.
η_{DOC}	: omzetting DOC in gasvormige verbindingen in rwzi's en riolering.
MCF _{rwzi}	: fractie DOC anaëroob omgezet in riolering en rwzi's.

In de berekening van de emissiefactor in de waterlijn wordt voor $B_{o,rwzi}$ een waarde van 0,25 g/g gehanteerd. Dit is de maximale hoeveelheid methaan die uit CZV kan worden geproduceerd. Voor η_{DOC} wordt een waarde gehanteerd van 0,8 g/g en voor MCF_{rwzi} wordt een waarde gehanteerd van 0,035 g/g. Deze twee laatste waarden worden gerapporteerd in het protocol 8136 Afvalwater, t.b.v NIR 2008 (VROM, 2008), maar zijn afkomstig uit een door TNO uitgegeven rapport uit 2004 (TNO rapport R2004/486 "Methaan- en lachgasemissies uit afvalwater", J. Oonk, November 2004).

$$EF_{waterlijn} = 0,25.0,8.0,035 = 0,007 \text{ kg CH}_4 / \text{ kg CZV}$$

Voor de emissie vanuit de slibvergister wordt de volgende formule gebruikt

$$CH_{4, slibvergister} = EF_{slib} \cdot DOC_{slib} \cdot (1-MR_{ind})$$
(4)

waarin:

EF _{slib}	: emissiefactor slib
DOC _{slib}	: hoeveelheid organische componenten = 0,37·CZV _{influent} (kg/jaar)
MR _{ind}	: CH ₄ winnings- en verbrandingsrendement van slibvergister = 0,94 (-).

De emissiefactor voor slib wordt met de volgende formule berekend:

$$EF_{slib} = B_{o,slib} \cdot \eta_{slib} \cdot MCF_{slib}$$

(5)

waarin:

B _{o,slib}	: methaanvorming bij anaërobe omzetting slib.
η_{DOC}	: omzetting slib in anaërobe vergister.
MCF _{rwzi}	: fractie DOC in slib die anaëroob afbreekt.

Voor $B_{o,slib}$ geldt weer de waarde van 0,25 g/g; voor η_{DOC} wordt een waarde 0,42 (-) gehanteerd en voor MCF_{slib} een waarde van 0,54. Deze laatste waarden zijn afkomstig uit het eerder genoemde TNO rapport.

 $EF_{slib} = 0,25.0,42.0,54 = 0,0567$

Indien deze waarde wordt ingevuld in formule 4 kan de CH₄ emissie vanuit de slibvergister als volgt worden berekend:

 $CH_{4,slibbergister} = 0,0567 \cdot 0,37 \cdot CZV_{influent} \cdot (1-0,94) = 0,0015 \cdot CZV_{in$

De emissie van CH_4 van een rwzi kan nu aan de hand van formule 1 worden berekend:

 $\mathrm{CH}_{4,\mathrm{rwzi}} = \mathrm{CH}_{4,\mathrm{waterlijn}} + \mathrm{CH}_{4,\mathrm{slibvergsiter}} = (0,007 + 0,0015) \cdot \mathrm{CZV}_{\mathrm{influent}} = 0,0085 \cdot \mathrm{CZV}_{\mathrm{influent}}$

STOWA 2010-08 EMISSIES VAN BROEIKASGASSEN VAN RWZI'S

BIJLAGE 3

ANALYSERESULTATEN INFLUENT, EFFLUENT EN SLIB

De analyseresultaten van het influent, effluent van de rwzi Papendrecht zijn weergegeven in tabel 32.

TABEL 32	ANALYSERESULTATEN INFLUENT EN EFFLUENT GEDURENDE DE MEETPERIODE OP DE RWZI PAPENDRECHT

		Influent		Effluent	
		26-sep	29-sep	26-sep	29-sep
Debiet	m³/d	7.566	7.484	665	450
CZV	mg/l	665	450	25	25
BZV	mg/l	170	-	1,6	-
NKj	mg/l	64	51	1,6	1,9
P-tot	mg/l	12	7,2	0,74	0,6

Het slibgehalte in beluchtingscircuit 1 en 2 is voorafgaand aan de meetperiode gemeten en op de laatste dag van de meetperiode. De resultaten zijn weergegeven in tabel 33.

TABEL 33 ANALYSERESULTATEN SLIBGEHALTE BELUCHTINGSCIRCUIT 1 EN 2 RWZI PAPENDRECHT

		Circi	Circuit 1		uit 2
		18-sep	29-sep	18-sep	29-sep
DS	g/l	2,9	3,6	2,7	3,1

De analyseresultaten van het influent van de rwzi Kortenoord zijn weergegeven in tabel 34.

TABEL 34 ANALYSERESULTATEN INFLUENT GEDURENDE DE MEETPERIODE OP DE RWZI KORTENOORD

	Debiet	CZV	BZV5	NKj	Ptot
	(m³/d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
29-5-2009	15.254	500	150	58	9,8
30-5-2009	15.558	460	130	55	10
31-5-2009	15.395	500	150	62	11
1-6-2009	13.379	470	110	53	10
2-6-2009	14.361	540	140	56	10
3-6-2009	14.489	490	160	58	11
4-6-2009	14.721	490	180	64	11

De analyseresultaten van het effluent van de rwzi Kortenoord zijn weergegeven in tabel 35.

	Debiet	CZV	BZV5	NKi	Ptot
	(m³/d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
29-5-2009	15.254	32	1,2	1,1	0,8
30-5-2009	15.558	30	1,7	1,5	0,3
31-5-2009	15.395	39	1,4	1,1	0,3
1-6-2009	13.379	31	1,6	1,4	0,2
2-6-2009	14.361				
3-6-2009	14.489	33	1,7	1,5	0,6
4-6-2009	14.721	35	1,7	1,3	0,8

TABEL 35 ANALYSERESULTATEN EFFLUENT GEDURENDE DE MEETPERIODE OP DE RWZI KORTENOORD

Het slibgehalte in het beluchtingscircuit is driemaal gemeten gedurende de meetperiode. De resultaten zijn weergegeven in tabel 36.

TABEL 36 SLIBGEHALTE IN HET BELUCHTINGSCIRCUIT

Datum	Slibgehalte		
	(g/l)		
25-5-2009	3,9		
27-5-2009	3,8		
3-6-2009	3,6		

De analyseresultaten van het influent van de rwzi Kralingseveer voor de meetperiode in oktober zijn weergegeven in tabel 37.

	Debiet	BZV	CZV	NKj	P-tot	
	(m³/d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	
14-10-2008	78.252	57	330	44	6,6	
15-10-2008	76.451	97	300	42	6	
16-10-2008	94.325	72	200	36	4,9	
17-10-2008	101.620	73	270	36	5,6	
18-10-2008	74.641	71	250	35	6,2	
19-10-2008	73.088	100	300	40	6,6	
20-10-2008	71.722	89	280	41	7,3	
21-10-2009	85.967	87	230	40	5,5	

TABEL 37 ANALYSERESULTATEN INFLUENT GEDURENDE DE MEETPERIODE IN OKTOBER OP DE RWZI KRALINGSEVEER

De analyseresultaten van de afloop van de voorbezinktank van de rwzi Kralingseveer voor de meetperiode in oktober zijn weergegeven in tabel 38.

	Debiet	BZV	CZV	NKj	P-tot
	(m³/d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
14-10-2008	78252	72	240	41	
15-10-2008	76451	59	270	46	8,6
16-10-2008	94325	93	280	53	
17-10-2008	101620	62	193	38	
18-10-2008	74641	56	152	35	
19-10-2008	73088	77	240	41	
20-10-2008	71722	77	260	42	
21-10-2008	85967	76	240	41	7,1

TABEL 38 ANALYSERESULTATEN AFLOOP VOORBEZINKTANK GEDURENDE DE MEETPERIODE IN OKTOBER OP DE RWZI KRALINGSEVEER

De analyseresultaten van het effluent van de rwzi Kralingseveer voor de meetperiode in oktober zijn weergegeven in tabel 39.

TABEL 39 ANALYSERESULTATEN EFFLUENT GEDURENDE DE MEETPERIODE IN OKTOBER OP DE RWZI KRALINGSEVEER

	Debiet	BZV	CZV	NKj	P-tot
	(m³/d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
14-10-2008	78.252	4,9	36	3	0,9
15-10-2008	76.451	3,2	34	2,9	0,8
16-10-2008	94.325	7	35	3,4	1,3
17-10-2008	101.620	5,6	33	2,8	1,3
18-10-2008	74.641	4,3	29	2,2	1,7
19-10-2008	73.088	3,9	33	2,2	2,1
20-10-2008	71.722	4,4	33	2,2	1,6
21-10-2009	85.967	2,8	29	2,2	1,1

De analyseresultaten van het influent van de rwzi Kralingseveer voor de meetperiode in februari zijn weergegeven in tabel 40.

TABEL 40

ANALYSERESULTATEN INFLUENT GEDURENDE DE MEETPERIODE IN FEBRUARI OP DE RWZI KRALINGSEVEER

	Debiet	BZV	CZV	NKj	P-tot
	(m³/d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
10-02-09	187.519				
11-02-09	213.159	52	210	25	5,5
12-02-09	103.389	100	250	21	4,1
13-02-09	90.152	60	240	25	4,4
14-02-09	84.267	83	210	19	4,9
15-02-09	80.392	100	270	26	5,4
16-02-09	107.053	140	320	26	4,9

De analyseresultaten van de afloop van de voorbezinktank van de rwzi Kralingseveer voor de meetperiode in februari zijn weergegeven in tabel 41.

	Debiet	BZV	CZV	NKj	P-tot
	(m³/d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
10-02-09	187.519				
11-02-09	213.159	55	300	28	6,8
12-02-09	103.389				
13-02-09	90.152	59	370	29	
14-02-09	84.267	66	200	28	
15-02-09	80.392	87	260	28	
16-02-09	107.053	110	240	29	6

TABEL 41 ANALYSERESULTATEN AFLOOP VOORBEZINKTANK GEDURENDE DE MEETPERIODE IN FEBRUARI OP DE RWZI KRALINGSEVEEER

De analyseresultaten van het effluent van de rwzi Kralingseveer voor de meetperiode in februari zijn weergegeven in tabel 42.

	Debiet	BZV	CZV	NKj	P-tot
	(m³/d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
10-02-09	187.519	-	-	-	-
11-02-09	213.159	5,9	25	1,6	0,3
12-02-09	103.389	6,9	27	1,2	0,2
13-02-09	90.152	6,9	42	1,3	1,7
14-02-09	84.267	5,6	42	0,7	2,1
15-02-09	80.392	6,7	52	0,8	2,2
6-02-09	107.053	7,7	50	1,7	2,3

STOWA 2010-08 EMISSIES VAN BROEIKASGASSEN VAN RWZI'S

BIJLAGE 4

MEETFOUTANALYSE GASDEBIETEN

In deze bijlage wordt de foutberekening van het gasdebiet weergegeven en de resultaten hiervan voor elke meetperiode.

MEETFOUTANALYSE

De onzekerheid in de meting wordt bepaald met de volgende formule:

$$\sqrt{\tau_u^2 + \left(\frac{\delta_d}{d} \cdot 100\right)^2 + \left(\frac{\delta_v}{v} \cdot 100\right)^2 + \left(\frac{v_E}{v} \cdot \tau_G\right)^2} \tag{1}$$

De hierin opgegeven parameters zijn samengevat in tabel 43, waarbij ook is aangegeven of deze waarde een meting of een aanname betreft.

TABEL 43 OVERZICHT PARAMETERS FOUTENBEREKENING GASDEBIET EN HOE DEZE PARAMETERS ZIJN BEPAALD

Parameter	Symbool	Eenheid	Bepaling	Waarde
Binnendiameter	d	mm	van tekeningen	locatieafhankelijk
Aantal metingen	n	-	gemeten	locatieafhankelijk
Afstand tot storingsplaats	а	(m)	a is geschat	locatieafhankelijk
Hydraulische diameter	D _h	(m)	D _h zie d	locatieafhankelijk
Gassnelheid	v	m/s	gemeten	locatieafhankelijk
Onregelmatigheid van het profiel	U	%	afgelezen uit grafiek Testo	locatieafhankelijk
Onzekerheid van de meetplaats	$\tau_{_{U}}$	%	afgelezen uit tabel Testo	locatieafhankelijk
Onzekerheid van de meter	$\tau_{_{G}}$	%	opgevraagd bij leverancier	druksonde pitotbuis: +/- 0,03 hPa hittedraadsonde: +/- (0,03 m/s + 4% meetwaarde)
Onzekerheid van de aflezing	δ,	%	aanname	locatieafhankelijk
Meetbereik van de meter	V _E	m/s	opgevraagd bij leverancier	druksonde pitotbuis: 0 - 40 hittedraadsonde: 0 - 20
Onzekerheid van de binnendiameter	$\boldsymbol{\delta}_{d}$	mm	niet bekend	wordt verwaarloosbaar geacht

De diameter van de buizen is afgelezen van de aangeleverde tekening en informatie is eventueel opgevraagd bij de beheerder van de zuivering. De fout die wordt gemaakt in deze diameters wordt verwaarloosbaar geacht ten opzichte van de andere meetfouten. Het aantal individuele metingen (n) werd per meting genoteerd. De hydraulische diameter is in het geval van ronde leidingen gelijk aan de binnendiameter. De afstand a tot een storingsplaats (bocht of vernauwing) is tijdens de meting niet bepaald. Hier is later een inschatting van gemaakt. Bij de plaatsbepaling voor de snelheidmeting is echter wel altijd getracht om een rechte leiding van circa 5x de binnendiameter voor het meetpunt te hebben.

Aan de hand van de ratio tussen a en D_h kan de onregelmatigheid in het stromingsprofiel van de lucht worden bepaald met behulp van de in figuur 36 weergegeven grafiek.

FIGUUR 36 EMPIRISCHE SAMENHANG TUSSEN DE ONREGELMATIGHEID VAN HET STROMINGSPROFIEL EN DE RELATIEVE AFSTAND A/D_H VAN DE STORINGSPLAATS (OVERGENOMEN VAN TESTO, 2001)



Met behulp van de bepaalde onregelmatigheid van het stromingsprofiel uit figuur 36 kan de onzekerheid van de meetplaats (τ_{ij}) aan de hand van tabel 44 worden bepaald.

Aantal meetpunten	Onregelmatigheid van het stromingsprofiel						
	2	10	20	30	40	50	
4	6	12	20	28	36	42	
5	5	11	17	24	31	36	
6	5	10	15	21	27	32	
8	4	8	13	18	23	27	
10	3	7	12	16	20	24	
20	2	5	8	11	14	16	
30	2	4	7	9	11	14	
50	1	3	5	7	8	10	
100	1	2	3	5	6	7	
200	1	1	2	3	4	5	

 TABEL 44
 ONZEKERHEID VAN DE METING BIJ EEN VRIJWEL TURBULENTVRIJE STROMING TEN OPZICHTE VAN DE MEETPUNTEN

 (OVERGENOMEN VAN TESTO, 2001)

De onzekerheid van de aflezing betreft de schommeling tussen de individuele metingen. Deze is tijdens de meting niet genoteerd, hiervoor wordt een waarde van 0,2 m/s aangenomen. Het meetbereik van de meter is opgevraagd bij de leverancier

De kenmerken van de gebruikte gasdebietmeters zijn samengevat in tabel 45.

TABEL 45 KENMERKEN GEBRUIKTE GASDEBIETMETERS

Meter	Meetbereik (v _e) in m/s	Nauwkeurigheid $\tau_{_{\!\!G}}$ in %
Pitot buis met drukverschilmeter	0 - 40	0,3
Hittedraadsonde	0 - 20	0,15

RWZI PAPENDRECHT

De kenmerken van de buizen in Papendrecht waarin het gasdebiet is bepaald zijn weergegeven in tabel 46.

TABEL 46 KENMERKEN BUIZEN OP DE RWZI PAPENDRECHT WAARIN GASDEBIET IS BEPAALD

	Diameter	iameter Oppervlakte	2	Dh	a/Dh	U
	(mm)	m ²	(m)	(m)	(-)	(%)
Kanaal 1	469	0,17	3,25	0,469	6,93	8
Kanaal 2	469	0,17	2,8	0,469	5,97	10
AT1	591	0,27	3,5	0,591	5,92	10
AT2	591	0,27	3,5	0,591	5,92	10
Anaërobe tank	150	0,02	4	0,150	26,67	1
Selector	150	0,02	4	0,150	26,67	1
Lavafilter	188	0,03	1	0,188	5,33	12
Afzuiging slibsilo	295	0,07	3	0,295	10,16	5

De resultaten van de foutenberekeningen zijn per locatie weergegeven in tabel 47 – tabel 52.

TABEL 47	RESULTATEN FOUTENBEREKENING KANA	AL 1 (N ₂ 0)				
Meetdag	v	n	τ	τ	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
22-sep	12,7	34	3	3,52	7.898	278
	12,8	38	3	3,51	7.961	279
23-sep	12,4	36	3	3,54	7.712	273
	12,5	35	3	3,53	7.774	275
25-sep	12,1	30	3	3,57	7.525	268
	12,7	30	3	3,52	7.898	278
29-sep	12,6	30	3	3,53	7.836	276
	12,6	30	3	3,53	7.836	276

TABEL 48 RESULTATEN FOUTENBEREKENING KANAAL 2 (N20)

Meetdag	v	n	u	L	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
23-sep	2,9	20	1	8,10	184	15
	2,4	20	1	9,77	153	15
	2,3	20	1	10,19	146	15
26-sep	2,6	35	1	9,03	165	15
	2,6	35	1	9,03	165	15
29-sep	2,3	29	1	10,19	146	15
	2,6	29	1	9,03	165	15

82

TABEL 49 RESULTATEN FOUTENBEREKENING ANAËROBE TANK (CH₄)

Meetdag	v	n	τ	τ	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
23-sep	2,9	20	1	8,10	184	15
	2,4	20	1	9,77	153	15
	2,3	20	1	10,19	146	15
26-sep	2,6	35	1	9,03	165	15
	2,6	35	1	9,03	165	15
29-sep	2,3	29	1	10,19	146	15
	2,6	29	1	9,03	165	15

TABEL 50 RESULTATEN FOUTENBEREKENING SELECTOR (CH₄)

Meetdag	v	n	τ	τ	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
23-sep	1,5	15	1	15,58	95	15
	1,3	20	1	17,97	83	15
26-sep	1	30	1	23,35	64	15
	1	22	1	23,35	64	15
29-sep	1,1	20	1	21,23	70	15
	1,3	20	1	17,97	83	15

TABEL 51 RESULTATEN FOUTENBEREKENING LAVAFILTER (CH₄)

Meetdag	v	n	τ_{u}	τ	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
23-sep	12	15	6	6,31	1.194	75
	12,8	20	6	6,27	1.274	80
	12,9	22	6	6,27	1.284	80
26-sep	14,3	30	5	5,26	1.423	75
	14,2	29	5	5,26	1.413	74
29-sep	13,9	40	4	4,34	1.383	60
	13,7	35	5	5,28	1.363	72

TABEL 52

RESULTATEN FOUTENBEREKENING AFZUIGING SLIBSILO (CH $_{a'}$ TIJDENS VERLADEN)

Meetdag	v	n	τ	τ	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
26-sep	12,5	30	2	2,74	3.084	84
	12,7	35	2	2,72	3.133	85

RWZI KORTENOORD

De kenmerken van de buizen in Kortenoord waarin het gasdebiet is bepaald zijn weergegeven in tabel 53.

	Diameter	Oppervlakte	а	Dh	a/Dh	U
	(mm)	m2	(m)	(m)	(-)	(%)
Kanaal 1	600	0,28	2,5	0,600	4,17	18
Kanaal 2	600	0,28	2	0,600	3,33	23
Kanaal 3	600	0,28	2	0,600	3,33	23
Ontvangwerk	420	0,14	3	0,420	7,14	8
Selector	340	0,09	3	0,340	8,82	7
Slibindikkers	140	0,02	2	0,140	14,29	1
Slibgebouw	400	0,13	3	0,400	7,50	8
Slibsilo	130	0,01	2	0,130	15,38	1

TABEL 53 KENMERKEN BUIZEN OP DE RWZI KORTENOORD WAARIN GASDEBIET IS BEPAALD

De resultaten van de foutenberekeningen zijn per locatie weergegeven in tabel 54 – tabel 61. Bij de weergegeven meetfouten moet ook nog een fout van 4% worden opgeteld. Deze waarde is opgegeven door de leverancier van de meter.

TABEL 54	RESULTATEN FOUTENBEREKENIN	G KANAAL 1 (N ₂ 0)				
Meetdata	v	n	τυ	τL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
29-mei	5,2	40	6	7,15	5.293	378
	5,22	40	6	7,14	5.313	379
2-jun	4,99	40	6	7,24	5.079	368
	5,14	40	6	7,18	5.232	375
4-jun	5,09	40	6	7,20	5.181	373
	5,09	40	6	7,20	5.181	373

RESULTATEN FOUTENBEREKENING KANAAL 2 (N₂0)

TABEL 55

Meetdata	v	n	u	L	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
29-mei	4,48	40	7	8,33	4.560	380
	4,4	40	7	8,37	4.479	375
2-jun	4,38	40	7	8,39	4.458	374
	4,27	40	7	8,45	4.346	367
4-jun	4,06	40	7	8,59	4.133	355
	4,21	40	7	8,49	4.285	364

TABEL 56 RESULTATEN FOUTENBEREKENING KANAAL 3 (N20)

Meetdata	v	n	τ_{u}	τ_{L}	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
29-mei	4,33	40	7	8,42	4.407	371
	4,31	40	7	8,43	4.387	370
2-jun	4,2	40	7	8,50	4.275	363
	4,35	40	7	8,40	4.428	372
4-jun	4,06	40	7	8,59	4.133	355
	4,21	40	7	8,49	4.285	364

TABEL 57 RESULTATEN FOUTENBEREKENING ONTVANGWERK (CH4)

Meetdata	v	n	τυ	τL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
2-jun	8,94	40	3	3,76	4.459	168
	8,94	43	3	3,76	4.459	168
4-jun	8,81	40	3	3,78	4.394	166
	8,73	40	3	3,79	4.354	165

TABEL 58 RESULTATEN FOUTENBEREKENING SELECTOR (CH₄)

Meetdata	v	n	τυ	τL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
29-mei	6,54	40	3	4,31	2.138	92
	6,48	41	3	4,33	2.118	92
2-jun	6,46	51	3	4,34	2.111	92
	6,52	46	3	4,32	2.131	92
4-jun	6,3	40	3	4,39	2.059	90
	6,32	40	3	4,39	2.066	91

TABEL 59	RESULTATEN	FOUTENBEREKENING	SLIBINDIKKERS	(CH_))
				1 47	

Meetdata	v	n	τυ	τL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
29-mei	8,56	40	1	2,57	474	12
	8,68		1	2,54	481	12
	8,54	40	1	2,57	473	12
2-jun	8,22	40	1	2,66	456	12
	8,37	40	1	2,61	464	12
4-jun	8,26	42	1	2,64	458	12
	8,41	40	1	2,60	466	12

TABEL 60 RESULTATEN FOUTENBEREKING SLIBGEBOUW (CH_4)

Meetdata	v	n	τυ	τL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
29-mei	2,71	40	3	8,04	1.226	99
	2,74	40	3	7,97	1.240	99
2-jun	2,79	40	3	7,84	1.262	99
	2,95	40	3	7,48	1.335	100
	2,99	40	3	7,40	1.353	100
4-jun	2,9	40	3	7,59	1.312	100
	2,67	41	3	8,15	1.208	98
	2,83	40	3	7,75	1.280	99

TABEL 61RESULTATEN FOUTENBEREKENING SLIBSILO (CH_4)

Meetdata	v	n	τ u	τL	Debiet	Meetfout	
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h	
2-jun	2,6	time average	1	7,84	124	10	
	2,46	time average	1	8,28	118	10	
4-jun	2,4	time average	1	8,49	115	10	
	2,35	time average	1	8,66	112	10	

RWZI KRALINGSEVEER

De kenmerken van de buizen in Kralingseveer waarin het gasdebiet is bepaald zijn weergegeven in tabel 62.

TABEL 62 KENMERKEN BUIZEN OP DE RWZI KORTENOORD WAARIN GASDEBIET IS BEPAALD

	Diameter	Oppervlakte	а	Dh	a/Dh	U
	(mm)	m2	(m)	(m)	(-)	(%)
Kanaal 1	770	0,47	3,5	0,770	4,55	15
Kanaal 2	770	0,47	3,5	0,770	4,55	15
AT rechts	570	0,26	2	0,570	3,51	20
AT links	570	0,26	2	0,570	3,51	20
Ontvangwerk	500	0,20	1,5	0,500	3,00	22
Voorbezinktanks	600	0,28	1,5	0,600	2,50	30
Indikkers	450	0,16	1,5	0,450	3,33	21
Slibsilo	300	0,07	1,5	0,300	5,00	9
Selector/RSG-A	400	0,13	1,5	0,400	3,75	19
Verdeelwerk 2	400	0,13	1,5	0,400	3,75	18

De resultaten van de foutenberekeningen zijn per locatie weergegeven in tabel 63 – tabel 72.

Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
14-okt	13,9	30	5	5,27	23.302	1.229
	13,8	30	5	5,28	23.134	1.221
16-okt	13,9	25	5	5,27	23.302	1.229
	13,5	25	5	5,29	22.631	1.197
10-feb	13,8	38	5	5,28	23.134	1.221
	13,8	32	5	5,28	23.134	1.221
13-feb	13,8	42	5	5,28	23.134	1.221
	13,9	42	5	5,27	23.302	1.229
17-feb	13,5	40	5	5,29	22.631	1.197
	13,9	40	5	5,27	23.302	1.229

TABEL 63 RESULTATEN FOUTENBEREKENING KANAAL 1 (N₂0)

TABEL 64 RESULTATEN FOUTENBEREKENING KANAAL 2 (N₂0)

Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
14-okt	13,4	30	5	5,29	22.464	1.189
	13,4	30	5	5,29	22.464	1.189
16-okt	13,2	25	5	5,30	22.128	1.173
	13,2	25	5	5,30	22.128	1.173
10-feb	13,9	40	5	5,27	23.302	1.229
	13,8	30	5	5,28	23.134	1.221
13-feb	13,8	42	5	5,28	23.134	1.221
	13,9	42	5	5,27	23.302	1.229
17-feb	13,5	42	5	5,29	22.631	1.197
	13,9	42	5	5,27	23.302	1.229

 TABEL 65
 RESULTATEN FOUTENBEREKENING AT (RECHTER BUIS) (N20)

4,9

Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
17-okt	4,7	30	7	8,58	4.318	370
	5,2	38	7	8,31	4.777	397
21-okt	4,9	30	7	8,47	4.501	381
	5,2	30	7	8,31	4.777	397
10-feb	4,7	30	7	8,58	4.318	370
13-feb	4,6	50	5	7,12	4.226	301
	4,4	50	5	7,29	4.042	295

TABEL 66	RESULTATEN FOUTENBEREKENING AT (LINKER BUIS) (N20)								
Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout			
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h			
17-okt	5,7	30	7	8,11	5.236	425			
	6,0	30	7	8,01	5.512	441			
21-okt	5,3	30	7	8,27	4.869	403			
	5,3	30	7	8,27	4.869	403			
10-feb	4,4	30	7	8,78	4.042	355			
13-feb	4,5	50	5	7,20	4.134	298			

5

6,90

4.501

311

50

88

TABEL 67 RESULTATEN FOUTENBEREKENING ONTVANGWERK (CH₄)

Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
14-okt	3,8	30	7	9,31	2.686	250
	3,5	30	7	9,66	2.474	239
	3,7	35	7	9,42	2.615	246
16-okt	4,0	34	7	9,11	2.827	258
	3,9	37	7	9,21	2.757	254
10-feb	3,9	45	7	9,21	2.757	254
	3,8	34	7	9,31	2.686	250
13-feb	4,0	28	7	9,11	2.827	258
	3,9	29	7	9,21	2.757	254
17-feb	4	31	7	9,11	2.827	258
	4	30	7	9,11	2.827	258

TABEL 68	RESULTATEN FOUTENBEREKENING VOORBEZINKTANK (CH,)
IADEL 00	RESULIAIEN FOUTENDERERENING VOURDEZINRIANR (CH ₄)

Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
14-okt	8,2	44	7	7,56	8.347	631
	9,3	34	7	7,44	9.466	704
	8,8	29	7	7,48	8.957	670
16-okt	9,5	27	7	7,42	9.670	717
	8,3	25	7	7,54	8.448	637
10-feb	8,6	29	9	9,40	8.754	823
	8,7	29	9	9,39	8.856	832
13-feb	8,9	40	8	8,42	9.008	759
	8,8	40	8	8,43	8.957	755
17-feb	9,1	35	8	8,40	9.263	778
	8,9	38	8	8,42	9.059	763

TABEL 69 RESULTATEN FOUTENBEREKENING SLIBINDIKKERS/SLIBBUFFERS (CH ₄))
---	---

Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
14-okt	6,8	39	6	6,91	3.893	269
	6,8	40	6	6,91	3.893	269
16-okt	6,8	21	7	7,80	3.893	303
	6,8	24	7	7,80	3.893	303
10-feb	5,9	25	7	8,04	3.378	272
	6	27	7	8,01	3.435	275
13-feb	6,0	40	6	7,15	3.435	246
	6,2	40	6	7,08	3.550	251
17-feb	6,2	30	7	7,95	3.550	282
	6	36	6	7,15	3.435	246
TABEL 70 RESULTATEN FOUTENBEREKENING SLIBSILO (CH₄)

Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
14-okt	7,9	37	4	4,97	2.010	100
	8,8	34	4	4,80	2.239	107
	8,4	36	4	4,87	2.138	104
16-okt	8,3	25	4	4,89	2.112	103
	8,3	25	4	4,89	2.112	103
10-feb	8,3	27	4	4,89	2.112	103
	8,3	30	4	4,89	2.112	103
13-feb	8,9	23	4	4,78	2.265	108
	8,8	34	4	4,80	2.239	107
17-feb	9,1	27	4	4,75	2.316	110
	9,2	30	4	4,74	2.341	111

Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
14-okt	7	34	7	7,75	3.167	246
	7,1	35	7	7,73	3.212	248
16-okt	6,8	20	7	7,80	3.076	240
	6,5	20	7	7,87	2.941	231
10-feb	7	26	7	7,75	3.167	246
	6,8	28	7	7,80	3.076	240
13-feb	6,6	28	7	7,84	2.986	234
	7,2	30	7	7,71	3.257	251
17-feb	6,7	28	7	7,82	3.031	237
	6,1	28	7	7,98	2.760	220

RESULTATEN FOUTENBEREKENING VERDEELWERK 2 (CH $_{\scriptscriptstyle 4})$ TABEL 72

Meetdag	v	n	tu	tL	Debiet	Meetfout
	m/s	-	%	%	m³/h	m³/h
14-okt	4,1	29	7	9,02	1.855	167
	4,5	36	7	8,71	2.036	177
	4,9	30	7	8,47	2.217	188
16-okt	4,1	30	7	9,02	1.855	167
	4,5	30	7	8,71	2.036	177
13-feb	3,4	29	7	9,80	1.538	151
	2,9	30	7	10,66	1.312	140
17-feb	4	25	7	9,11	1.810	165
	3,5	32	7	9,66	1.583	153